

Relatório de Quebra de Corrente de Carga

18 de agosto de 2006

R.V. Ribas, U. Schnitter, B. Conceição Filho, M. Arantes, C.C. Perego

LAFN -Laboratório Aberto de Física Nuclear - DFN -IFUSP

No dia 17 de julho de 2006, após cerca de 800 hs de uso, uma corrente de carga nova, recém adquirida da NEC quebrou. Vínhamos, desde há cerca de um ano com problemas semelhante, quando em cerca de um mês, três correntes se romperam. Uma, que estava em uso por cerca de 5000 hs, foi substituída por uma outra, com muito pouco uso, mas que fora posta de lado por não apresentar bom comportamento há cerca de 2 anos. Após a quebra desta, semanas após, uma corrente recondicionada com componentes (pellets e elos de nylon) de correntes velhas foi instalada. Esta também não durou muito. Após um demorado processo de importação, recebemos, em fevereiro de 2006 um par de novas correntes compradas da NEC. Nesse tempo, resolvemos também construir uma corrente aqui, utilizando a empresa NITRON, do eng. Adriano Meira, que trabalhou no Pelletron por muitos anos e na época havia, juntamente com o eng. Udo Schnitter, desenvolvido um novo projeto para os elos de nylon. Foram aproveitados os pellets metálicos de correntes quebradas, com elos de nylon, eixos, buchas, etc. fabricados por aquela empresa. As duas correntes estavam disponíveis no final de fevereiro e foram montadas simultaneamente no início de março. Logo se percebeu que havia problemas com o processo de rebitagem da corrente feita em SP, que foi então foi devolvida à NITRON. As duas correntes NEC foram então montadas e utilizadas por cerca de 3 semanas (metade disso de uso efetivo das correntes). Logo a seguir, tivemos outros problemas com o acelerador, principalmente devidos a 2 unidades de tubo acelerador, que há algum tempo mostravam comportamento irregular. Além (ou por causa) disso, tínhamos muita dificuldade no condicionamento dessas seções e com a falha do copo de Faraday 4, que está instalado dentro do tanque, tivemos que abrir o tanque novamente. Nessa oportunidade, montamos novamente a corrente nacional no lugar de uma das novas da NEC. Posteriormente, tivemos que abrir novamente a máquina, agora por queima do motor do dito cujo copo de Faraday. Em ambas as aberturas, constatou-se os sérios problemas com as duas unidades de tubo de aceleração. Mesmo tido sido colocadas fora de ação (curto-circuitando as unidades), verificou-se que faíscas haviam rompido os fios de curto-circuito. Além disso, nas vezes anteriores em que o tanque foi aberto, antes que as unidades fossem curto-circuitadas, observou-se que as “canecas”, elementos com as pontas de corona de distribuição de tensão no tubo acelerador, das tais unidades haviam sido arrancadas do tubo. Concluiu-se que estas unidades deveriam ser substituídas na próxima

abertura, e que a tensão do acelerador seria limitada para cerca de 7 MV antes da substituição. Nesse período procedeu-se ao condicionamento da máquina, sempre com muita dificuldade devido a um número muito grande de descargas de tanque. O processo de condicionamento foi ainda atrasado por uma série de outros problemas, como a falha do sistema de controle de tensão do acelerador e no sistema de medida de energia do feixe (NMR). Tivemos ainda uma nova abertura de tanque para substituir as novas polias de nylon, que geravam muita carga positiva por atrito, pelas velhas recondiçionadas, conforme será descrito mais adiante. Em meados de julho, ao se observar o comportamento da tensão de terminal com as correntes desligadas, que caía continuamente, muito abaixo dos valores normais, conclui-se que havia muita umidade no gás (ou deterioração do mesmo, já que estamos com nível baixo de gás e temos que “raspar” o gás dos tanques para obter pressões adequadas à operação da máquina - 68 psi). Procedeu-se então à reciclagem dos elementos secadores (filtros de zeolita) e começou-se a medir o decaimento da tensão do terminal com as correntes paradas (fugas) como medida da qualidade/conteúdo de umidade do gás. Com o gás em melhores condições, a máquina foi condicionada até cerca de 6.8 MV (com feixe) e liberada para uso até 6.6 MV. O primeiro período de medidas iniciaria na terça-feira, dia 18 de julho, mas por volta de 21 hs do dia anterior, uma das correntes (a fabricada pela NEC) se rompeu.

Durante o período de cerca de 800 hs em que as correntes foram acionadas, observou-se um comportamento não usual com a corrente NEC: Continuadamente, essa corrente se esticava, tendo sido necessário a remoção de 6 elos da corrente ao longo desse período. Logo no primeiro dia de operação, após menos de 10 minutos de operação, ainda com o tanque aberto, o sistema de proteção desligou o acelerador, pois esta corrente havia se alongado além dos limites aceitáveis. Na corrente NITRON, apenas dois elos foram removido até o momento. Antes da montagem das novas correntes em meados de março, foram confeccionadas novas polias de nylon para as correntes. Essas foram feitas com uma nova placa de nylon (as anteriores foram sempre feitas com nylon de uma mesma placa, adquirida há mais de 20 anos). Embora a nova placa seja tecnicamente do mesmo tipo de nylon da placa anterior, observou-se também aqui um comportamento não usual: As novas polias produziam, por atrito, uma quantidade de carga positiva excessivamente alta (dependendo da condição do gás, podia chegar a 20 μA , com tensão de carga zero). Após contatos com a NEC, verificamos que eles estavam recomendando o uso de uma variação desse tipo de nylon, o UHMW-AS, onde AS corresponde a anti-estático. É um nylon com as mesmas propriedades mecânicas do anterior, mas com relatividade superficial, medida a uma distância de 2.5 cm entre os eletrodos de cerca de $10^5 \Omega$ contra mais de $10^{15} \Omega$ do nylon normal.

Na abertura do tanque, após essa quebra, procedeu-se a uma vistoria criteriosa do interior do acelerador, sem que se encontrasse nenhuma falha mecânica que pudesse explicar a quebra da corrente (como por exemplo travamento de rolamentos, etc.). A única observação se refere a um pó de coloração marrom, que se encontrou depositado junto aos condutores de carga e nos orifícios das placas metálicas de suporte, por onde passa a corrente NITRON (no lado de saída da corrente). Posteriormente, procurou-se analisar o gás e as características mecânicas dos elos de nylon, com uso e sem uso, tanto dos fabricados pela NEC quanto os da NITRON. Análise visual dos elos usados de ambas as correntes mostraram rachaduras, sendo que nos elos fabricados pela NITRON eram ao longo do comprimento do elo e nos pela NEC, na

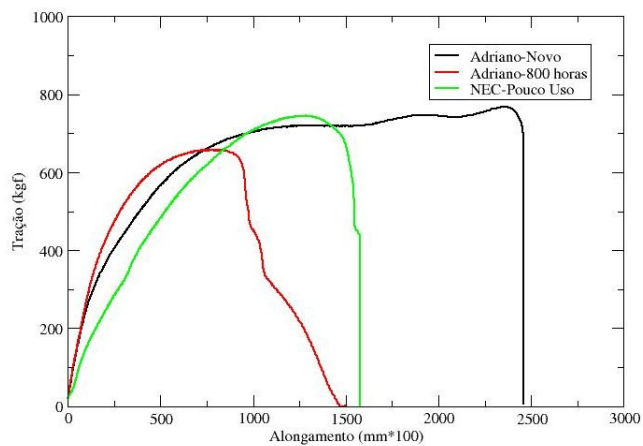
direção perpendicular. Procedeu-se então à medição da força de tração nas correntes (peso do motor e acessórios menos o dos contra-pesos) e verificou-se que estavam (cerca de 44 kgf) acima do recomendado pela NEC (30 ± 5 kgf). Dois elos da corrente NITRON, um novo e um com cerca de 700 hs, e um da NEC, com cerca de 200-400 hs de uso (utilizou-se um elo removido por alongamento da corrente, evitou-se utilizar elo da corrente quebrada, pois poderia ter comportamento alterado após a quebra), foram submetidos a teste de resistência à tração em um Laboratório do Departamento de Metalurgia da Escola Politécnica - USP. Os elos foram tracionados utilizando-se um dispositivo com mesmas características dos eixos utilizados nos pellets de cada corrente. Os resultados do teste são vistos na Fig. 1. Nota-se que a força de ruptura (cerca de 700 kgf) é muito maior que a força de tração normal na corrente, mesmo considerando a tração acima do recomendado que estava sendo utilizada. Observa-se também, no caso dos elos fabricados pela NITRON, que houve uma considerável diminuição da plasticidade (portanto um endurecimento) dos elos com o uso. A peça fabricada pela NEC se encontra, em termos de plasticidade, entre os dois casos anteriores, tendo também sido utilizada por um tempo intermediário entre os dois da NITRON. Outra diferença a ser mencionada, é que os elos da NITRON, tanto o novo quanto o usado, apresentam, para trações inferiores a cerca de 250 kgf, uma região linear, indicando possível elasticidade, enquanto que a da NEC não mostra mesmo comportamento (indicando possível causa da necessidade de remoção dos 6 elos). Entretanto, como em todos os casos a força de ruptura é sempre muito superior à de operação, concluiu-se não ser problema de resistência mecânica a causa da ruptura (com cerca de 300 elos em uma corrente, deveríamos ter retirado mais de 100 elos de corrente para se chegar à elongação de ruptura).

Montamos a nova corrente NEC, foram adicionados contra-pesos em ambas as correntes, de modo a manter a tração em 28 kgf. Foram também substituídas as duas unidades problemáticas do tubo acelerador e trocadas todas as polias por novas, feitas com o nylon anti-estático. Observando-se o movimento das correntes com lâmpada estroboscópica, não foi observado nenhuma evidência de deslizamento das correntes em relação à polia tratora. Também observou-se cuidadosamente possíveis movimentos vibracionais ou irregulares das correntes sem que nada fosse encontrado. Essa análise também havia sido feita na montagem inicial das correntes, sendo sempre observado movimentação regular das correntes. Após pressurização do tanque com SF₆, procedeu-se então a uma análise das condições de isolamento do gás, medindo-se o decaimento da tensão de terminal com as correntes desligadas. Somente após obtenção de boas condições (descritas abaixo), iniciou-se ao processo de condicionamento. Estamos ainda procurando soluções de análise de composição do gás para poder ter um controle mais efetivo sobre este elemento do acelerador.

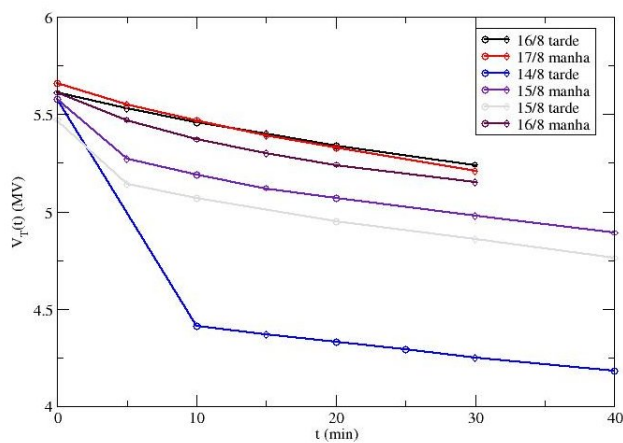
Medida do Tempo de Decaimento da Tensão de Terminal

A medida é realizada, para uma dada pressão de gás no tanque, carregando-se o terminal até uma tensão segura para aquela pressão (para a qual as correntes de descarga pelas pontas de corona das agulhas é nula) e então medindo-se a evolução da tensão do terminal em função do tempo. Após uma queda inicial que possa

Teste de Tração (2mm/min)



Teste de tração em elos de nylon das correntes do Pelletron.



Evolução da tensão de terminal, com correntes desligadas, para várias situações de umidade no gás.

dependem ainda de processos ligados às pontas de corona (com duração de cerca de 5-10 minutos), o restante é principalmente devido às fugas pelo gás, ou seja dependente do conteúdo de umidade e de possíveis elementos de decomposição do gás devido às descargas. Na Fig. 2 um gráfico da evolução do comportamento do gás, com processo contínuo de filtragem pelos elementos de zeólita. Esses elementos foram seqüencialmente reciclados ao longo das medidas. Das duas últimas medidas, observa-se estabilidade do comportamento. Como o secador havia sido reciclado no dia anterior, concluiu-se que este é o limite do sistema. Também, observa-se que para tensões mais baixas, a taxa de decréscimo é de cerca de 1.3 kV/min, independente do comportamento inicial. Portanto, uma indicação da qualidade do gás seria a taxa de decréscimo num intervalo de cerca de 10 min, em função da tensão inicial, numa dada pressão de gás. O valor aproximado é $V_{T10}/V_{T0}=0.97$ para o gás atual seco.

Cronograma de Atividades no período

- 23/02/2006 - Chegaram as correntes da NEC.
- 02/03/2006 - Instalada corrente NEC na polia de carga #2 com 317 elos. Após cerca de 5 min de operação, tivemos que retirar 1 pellet (316 na corrente). Instalada corrente #1 (NITRON) com 314 elos.
- 24/03/2006 - Retirado 1 elo da corrente #1 (NITRON) (313 na corrente). Retirado mais 2 pellets da corrente #2 (NEC) (agora com 314 elos). Após rodar por algum tempo, ainda com tanque em ar, percebeu-se que na corrente #1 (NITRON), haviam elos com arrebites soltos. A corrente foi removida e instalada a outra corrente NEC (nova), com 316 pellets.
- 27/03/2006 - Retirado 1 pellet da corrente #1 (NEC , 315 elos na corrente).
- 28/03/2006 - Retirado 1 pellet da corrente # 1 (NEC, 314 elos na corrente). Fechado o tanque, pressurizado e iniciado o procedimento de secagem do gás.
- 03/04/2006 - Iniciado o condicionamento da máquina.
- 05/05/2006 - Com problemas de condicionamento, principalmente nas últimas seções da parte de baixa energia, abriu-se novamente o tanque, tendo sido observado que as “canecas” das seções de tubo problemáticas (unidades 15 e 16) haviam se soltado.
- 12/05/2006 - Recebemos a corrente NITRON com substituição dos arrebites por parafusos (o fabricante teve que refazer parte do trabalho, com modificações nos eixos metálicos, pois os arrebites não apresentavam uniformidade suficiente para garantir boa estabilidade no uso). A corrente foi novamente montada na polia #1, com 314 elos. Recomeçou o condicionamento.
- 05/06/2006 - Aberto novamente o tanque, para substituição das polias novas pelas antigas, recondicionadas. Retirado 1 pellet da corrente #1 (NITRON, agora com 313 pellets) e 2 pellets da corrente #2 (NEC, agora com 312 pellets).
- 03/07/2006 - Aberto novamente o tanque, para conserto do motor do copo de Faraday #4. Também foram encontradas “canecas” caídas, das mesmas seções faltosas.

- 06/07/2006 - Fechado o tanque, pressurizado e após procedimentos de secagem do gás, foi reiniciado o condicionamento.
- 17/07/2006 - Máquina condicionada até cerca de 6.9 MV com feixe, que seria liberada no dia seguinte para experimentos. Por volta de 21hs - quebra da corrente #2 (NEC).