

OBJETIVO: O emulador de cargas/geração integra a infraestrutura do laboratório Smart Grid e contempla a geração de perturbações capazes de reproduzir os fenômenos de qualidade de energia elétrica definidos no módulo 8 do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica - PRODIST estabelecido pela ANEEL e incorpora o requisito de ser um equipamento de mercado, com características de um produto industrial e que possibilita a realização de testes básicos em medidores de energia inteligentes, a fim de avaliar seu desempenho frente aos fenômenos de QEE (Qualidade da Energia Elétrica) definidos e as novas funcionalidades que o ambiente de REI (Redes Elétricas Inteligentes) traz.

CARACTERÍSTICAS DO EMULADOR DE CARGAS/GERAÇÃO

O emulador de cargas/geração do Smart Grid é capaz de gerar três sinais de corrente e três sinais de tensão independentes um do outro e com as seguintes características específicas:

- valor de amplitude de corrente configurável entre 0 e 10 A, por canal;
- valor de amplitude de tensão configurável entre 25 e 250 V, por canal;
- valor de ângulo de fase dos sinais de corrente ou de tensão, por canal, configurável entre 0° e 360° ;
- o canal de tensão apresenta capacidade de corrente de até 200mA.

O emulador de cargas/geração concebido na versão protótipo é capaz de gerar apenas sinais senoidais em 60 Hz tanto para corrente quanto para tensão, por canal.

A programação dos valores das amplitudes e ângulos de fase dos sinais é feita por meio de uma rede de comunicação com protocolo. O emulador possui um endereço IP para comunicação com protocolo MODBUS.

O emulador de cargas/geração atual dispõe de um acessório de corte-religa externo ao mesmo para permitir cortar a excitação dos canais de tensão e de corrente dos MI (medidor inteligente) quando o MI executa o comando de corte-religa.

1.1 EM RELAÇÃO AS CAPACIDADES DE GERAÇÃO DE SINAIS DE CORRENTE E TENSÃO EM TERMOS DE AMPLITUDES E ÂNGULOS DE FASE

- Valor de amplitude de corrente configurável entre 0 e 15 A, por canal (resolução 100mA),
- Valor de amplitude de tensão configurável entre 30 e 300 V, por canal,
- Valor de ângulo de fase dos sinais de corrente ou de tensão, por canal, configurável entre 0° e 360°. O canal 1 de tensão deve ser o canal de referência e se manter sincronizado em relação a tensão de alimentação, porém, a informação de ângulos de fase dos outros canais, ou seja, os ângulos dos sinais dos canais 2,3,4, 5 e 6 devem ser dados como defasagens em relação ao canal 1.

- O canal de tensão apresenta capacidade de corrente de até 160mA (esta capacidade é importante por ser responsável pela alimentação da eletrônica do MI incluindo a comunicação).

1.2.1 Em relação aos fenômenos

Em relação aos fenômenos, o emulador de cargas/geração inclui:

1.1.2 Para tensões

- Geração de sinais em regime permanente com forma de onda qualquer (com composição harmônica),
- O ângulo de fase da tensão fundamental do canal 1 deve ser de 0° a 360°,
- O canal 1 de tensão deve ser o canal de referência e se manter sincronizado em relação a tensão de alimentação, porém, a informação de ângulo de fase dos outros canais, ou seja, os ângulos dos sinais dos canais 2 e 3 devem ser dados como defasagens em relação ao canal 1,
- Os ângulos das componentes harmônicas devem ser dados em relação ao sinal de fundamental do canal correspondente,
- Geração de interrupção de tensão de curta duração,
- Geração de interrupção de tensão momentânea,
- Geração de interrupção de tensão de longa duração,
- Geração de variação de tensão de curta duração,
- Geração de variação momentânea de tensão,
- Geração de efeito de flicker, que resulte indicador de PST e PLT de valor 1,0,
- Geração de tensão e corrente em regime permanente com frequência entre 55 e 65 Hz, neste caso sem sincronismo com a rede.

1.1.3 Para correntes

- Geração de sinais em regime permanente com forma de onda qualquer (com composição harmônica),
- O ângulo de fase da corrente fundamental do canal 4 deve ser dado em relação ao canal 1 de tensão da fase 1,
- O canal 1 de tensão deve ser o canal de referência e se manter sincronizado em relação a tensão de alimentação, porém, a informação de ângulo de fase dos outros canais, ou seja, os ângulos dos sinais dos canais 4, 5 e 6 devem ser dados como defasagens em relação ao canal 1.

1.1.4 Em relação a forma física do emulador

- Quanto a sua forma física as principais necessidades são:
- painel frontal sem a presença de bornes visíveis,
- Colocar o botão para acionamento de liga/desliga e botão para seleção de operação manual admitindo operação default estabelecida,
- Transferir a régua de bornes para a parte superior do emulador, sendo usado um padrão de conexão igual ou similar aos utilizados nas mesas de aferição de medidores presentes no laboratório de aferição da EDP,

- Incluir a função de corte-religa internamente ao emulador com uso de “latching relay” com baixo valor de resistência interna (da ordem de 2 m Ω),
- Criar uma interface homem máquina (IHM) software para a entrada de dados de modo mais direto via rede de comunicação.

2 DEFINIÇÃO DOS FENÔMENOS A SEREM GERADOS PELO EMULADOR DE CARGAS/GERAÇÃO

Espera-se que o emulador de cargas/geração permita gerar os seguintes fenômenos:

- Emular em regime permanente senoidal em 60 Hz;
- Gerar tensões e correntes com amplitudes e ângulos definidos na IHM quando no modo automático ou valores default quando no modo manual.

Harmônicos.

- Gerar tensões e correntes com composição harmônica conforme definido no item 3.2.2 por meio de IHM.

Desequilíbrio de tensão.

- Gerar tensões com valor de desequilíbrio de amplitude ou de ângulo de fase definidos por meio da IHM;
- Usar a fase 1 como referência;
- Entrar com valor base da tensão;
- Entrar com porcentagem do valor base para cada uma das fases de tensões (por exemplo 10%);
- Entrar com ângulos de fase das tensões nas fases.

Efeito de flicker (senoidal).

- Gerar tensões pulsações na tensão de modo a resultar em valor de PST e PLT unitários.
- Gerar efeito de flicker apenas para os canais das tensões 1, 2 e 3;
- Limitar as frequências/amplitudes para geração de efeito de flicker em: 6/0,328; 10/0,26; 12/0,312; 15/0,432 e 20/0,70 (Hz/%), gerando de forma default um caso de cada vez.

Variação de frequência.

- Gerar sinais de tensão e corrente com frequência na faixa estabelecida com resolução de 1 Hz.
- Gerar tensões e correntes com amplitudes e ângulos definidos na IHM quando no modo automático ou valores default quando no modo manual.

Variação de tensão de curta-duração,

- Interrupção de temporário (amplitude entre 0 de 10%, duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto),

- Interrupção momentânea de tensão (amplitude entre 0 de 10%, duração entre 1 e 3 minutos),
- Afundamento de temporário (amplitude entre 10% de 90%, duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto),
- Afundamento momentâneo de tensão (amplitude entre 10% de 90%, duração entre 1 e 3 minutos),
- Elevação de temporária, (amplitude acima de 10%, duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto),
- Elevação momentânea de tensão, (amplitude acima de 10%, duração entre 1 e 3 minutos).

Correção da corrente e tensão de saída.

- A correção máxima na tensão e na corrente deve ser de até $\pm 5\%$.

3 DEFINIÇÃO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO ENTRE COMPUTADOR E EMULADOR VIA MODBUS.

A formação de um protocolo padrão de comunicação entre o computador e os emuladores segue e para cada um dos fenômenos a serem gerados pelo emulador.

3.1 EVENTO “NORMAL”

O evento “normal” é utilizado para gerar individualmente por canal uma tensão ou uma corrente. Os canais 1,2 ou 3 das tensões são referidas à referência de entrada da rede elétrica AC. As tensões variam de 0a 250VCA e a corrente em duas escalas de correntes, sendo a primeira de 100mA a 1.0A e a segunda de 1A a 10A. A tabela a seguir identifica faixa e valores que o emulador deverá gerar tanto para a tensão como para a corrente. Para envio da tensão segue o protocolo a seguir, onde deve ser definido o evento em primeiro lugar, depois o canal a ser gerada ou a tensão ou a corrente, em seguida a amplitude da tensão ou da corrente. Os próximos dois campos a seguir deverão ser iguais a zero obrigatoriamente e sexto campo o valor da defasagem de 0 a 360°.

Campo 01	Campo 02	Campo 03	04	05	Campo 06
Código Evento = 2	Canal 1 a 6	Amplitude Tensão: 0 a 250V; Corr.: 1 a 10 (100mA a 1A) Corr.: 11 a 100 (1.1A a 110A)	0	0	Defasagem 0 a 360°

3.2 EVENTO “AFUNDAMENTO”

O evento “afundamento” na tensão é um evento transitório e dessa forma necessita enviar informações da porcentagem de afundamento da tensão em operação e o tempo desse evento transitório. O canal selecionado deverá obrigatoriamente estar emulando anteriormente um evento normal de tensão (amplitude e ângulo). O protocolo de comunicação definido deverá conter campos para o evento transitório, o canal destinado, a porcentagem de afundamento, dois campos seguidos com zeros, o gênero que poderá ser 0, 1 ou 2 dependendo da unidade de tempo desejada par o evento e o último

campo o tempo de afundamento, o qual poderá ser por ciclos, segundos ou minutos. A tabela a seguir mostra como deverá ser montado os campos dentro do protocolo de comunicação.

Campo 01	Campo 02	Campo 03	04	05	Campo 06	Campo 07
Código Evento = 3	Número do canal 1 a 3	Porcentagem Afundamento de 0 a 100%	0	0	Gênero	Número Ciclos

3.3 EVENTO “ELEVAÇÃO”

O evento “elevação” na tensão é um evento transitório e dessa forma necessita enviar informações da porcentagem de elevação da tensão em operação e o tempo desse evento transitório. O canal selecionado deverá obrigatoriamente estar emulando anteriormente um evento normal de tensão (amplitude e ângulo). O protocolo de comunicação definido deverá conter campos para o evento transitório, o canal destinado, a porcentagem de elevação, dois campos seguidos com zeros, o gênero que poderá ser 0, 1 ou 2 dependendo da unidade de tempo desejada par o evento e o último campo o tempo de elevação, o qual poderá ser por ciclos, segundos ou minutos. A tabela a seguir mostra como deverá ser montado os campos dentro do protocolo de comunicação.

Campo 01	Campo 02	Campo 03	04	05	Campo 06	Campo 07
Código Evento = 4	Número do canal 1 a 3	Porcentagem Elevação de 0 a 100%	0	0	Gênero	Número Ciclos

3.4 EVENTO “INTERRUPÇÃO”

O evento “interrupção” na tensão é um evento transitório e dessa forma necessita enviar informações da operação e o tempo desse evento transitório. O canal selecionado deverá obrigatoriamente estar emulando anteriormente um evento normal de tensão (amplitude e ângulo). O protocolo de comunicação definido deverá conter campos para o evento transitório, o canal destinado, três campos seguidos com zeros, o gênero que poderá ser 0, 1 ou 2 dependendo da unidade de tempo desejada par o evento e o último campo o tempo de interrupção, o qual poderá ser por ciclos, segundos ou minutos. A tabela a seguir mostra como deverá ser montado os campos dentro do protocolo de comunicação.

Campo 01	Campo 02	03	04	05	Campo 06	Campo 07
Código Evento = 5	Número do canal 1 a 3	0	0	0	Gênero	Número Ciclos

3.5 EVENTO “VARIACÃO DE FREQUÊNCIA”

O evento “variação de frequência” é utilizado para gerar individualmente por um canal de tensão. Os canais 1,2 ou 3 poderão gerar frequências conforme protocolo referido a seguir. A frequência da tensão gerada pode variar de 55Hz a 65Hz. Para envio da variação de frequência, o protocolo a seguir, onde deve ser definido o evento em primeiro lugar, depois o canal a ser gerada a frequência, em seguida a amplitude da tensão e os próximos dois campos a seguir deverão ser iguais a zero obrigatoriamente e sexto campo o valor da defasagem de 0 a 360° e por último o valor inteiro da frequência desejada.

campo 01	campo 02	campo 03	04	05	campo 06	campo 07
Código Evento = 6	Canal 1 a 3	Amplitude 0 a 250V	0	0	Defasagem 0 a 360°	Frequência 55 à 65Hz

3.6 EVENTO “CINTILAÇÃO DA TENSÃO”

O evento “cintilação na tensão” é utilizado para gerar individualmente por um canal de tensão. Os canais 1,2 ou 3 poderão gerar cintilações na tensão conforme protocolo referido a seguir. A cintilação da tensão será gerada selecionando um dos cinco gêneros definidos conforme tabela a seguir. Para o envio da cintilação na tensão, o protocolo a seguir, onde deve ser definido o evento em primeiro lugar, depois o canal a ser gerada a cintilação da tensão, em seguida a amplitude da tensão e os próximos dois campos a seguir deverão ser iguais a zero obrigatoriamente e sexto campo o valor da defasagem de 0 a 360° e por último o gênero da cintilação na tensão desejada.

Gênero	1	2	3	4	5
Frequência	6,0	10,0	12,0	15,0	20,0
Taxa de nodulação	0,328	0,26	0,312	0,432	0,70

campo 01	campo 02	campo 03	04	05	campo 06	campo 07
Código Evento = 7	Canal 1 a 3	Amplitude 0 a 250V	0	0	Defasagem 0 a 360°	Gênero 1 a 5

3.7 EVENTO “HARMÔNICAS”

O evento “harmônicas” é utilizado para gerar individualmente por canal uma tensão ou um canal de corrente. Os canais 1,2 ou 3 das tensões são referidas à referência de entrada da rede elétrica AC. As tensões variam de 0a 250VCA e a corrente em duas escalas de correntes, sendo a primeira de 100mA a 1.0A e a segunda de 1A a 10A. Para envio das harmônicas, a geração pode ser ajustada em grupos de até 6 ordens harmônicas, sendo a frequência fundamental e mais cinco ordens harmônicas, ou seja, poder-se-á gerar um sinal composto por um sinal com frequência fundamental mais cinco componentes harmônicas ímpares, múltiplas da frequência fundamental até a ordem 49ª. Para envio das harmônicas ou da tensão ou da corrente segue o protocolo a seguir, onde deve ser definido o evento em primeiro

lugar, depois o canal a ser gerada a harmônica ou da tensão ou da corrente, em seguida a amplitude da tensão ou da corrente da fundamental. Os próximos dois campos a seguir deverão ser iguais a zero obrigatoriamente e sexto campo o valor da defasagem de 0 a 360° da fundamental. Os próximos campos serão das cinco ordens, amplitudes e defasagens das harmônicas da fundamental. Um total de vinte e um campos, conforme mostra o protocolo a seguir.

campo 01	campo 02	campo 03	04	05	campo 06	campo 07	campo 08	campo 09
Cód. Ev. = 8	N.o canal	V_{AMPL} 0 a 250V	0	0	∅ 0 a 360°	Ord1 1 a 49	V_{AMPL} 0 a 250V	∅ 0 a 360°

campo 10	campo 11	campo 12	campo 13	campo 14	campo 15
Ord2 1 a 49	V_{AMPL} 0 a 250V	∅ 0 a 360°	Ord3 1 a 49	V_{AMPL} 0 a 250V	∅ 0 a 360°

campo 16	campo 17	campo 18	campo 19	campo 20	campo 21
Ord4 1 a 49	V_{AMPL} 0 a 250V	∅ 0 a 360°	Ord5 1 a 49	V_{AMPL} 0 a 250V	∅ 0 a 360°

3.8 EVENTO “IDENTIFICA_FASE_ATIVA”

Esse evento deve ser utilizado em conjunto com “corte e religa”, pois identifica as fases ativas a serem monitoradas pela corrente ou pela tensão. Quando uma fase está ativa o relé entre esta fase e neutro é ativado e caso contrário a fase ficará desconectada fisicamente do neutro. Para o envio da fase ativa serão utilizados dois campos sendo o primeiro código do evento e um segundo campo da fase ativa. Conforme a tabela a seguir o campo identifica a fase ativa.

Cód. Ev. = 9
