

UMA REAL EMULAÇÃO DE CARGAS E GERAÇÃO DE FENÔMENOS OU PERTURBAÇÕES QUE INTERFEREM NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.

MSc. Luís Caldas*, Dr. Silvio Xavier Duarte e Eng. Heverton Nogueira Juliano*****

***Lucapel Comercial Ltda**
Rua Issaco Coppini, 43 – CEP: 09571-110
São.Caetano doSul, SP – Brasil
Email: lcaldas@lucapel.com.br

****FDTE – USP**
Avenida Afrânio Peixoto, 412 – CEP: 05507- 000
Butantã - São Paulo, SP – Brasil
Email: silvioxavi@gmail.com

*****Lucapel Comercial Ltda**
Rua Issaco Coppini, 43 – CEP: 09571-110
São Caetano do Sul, SP – Brasil
Email: heverton@lucapel.com.br

Resumo: 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 definidos e as novas funcionalidades que o ambiente de REI traz. O emulador de cargas/geração concebido na fase de montagem do laboratório de Smart Grid é capaz de gerar de forma contínua ou como transitório três sinais de corrente e três sinais de tensão independentes um do outro e com características e especificações respectivamente para a corrente com escalas de 0,1A a 1,0A e de 1,1A a 10 A e para as tensões de 0 a 250V. Os fenômenos gerados na forma contínua nas tensões e alguns nas correntes como são as harmônicas, e somente nas tensões são as variações na frequência e flicker e os fenômenos de forma transitória são de afundamento (SAG) ou de elevação (Swell) e de interrupção e todos podem ser programados para curta ou longa duração. Além dos fenômenos citados é possível em qualquer instante e individualmente cortar externamente a geração da corrente, como um desligamento feito pela concessionária e automaticamente e a distância o religamento da corrente.

Keywords: Emulador, sag, swell, flicker, osciloscópio, algoritmos, fenômenos, qualidade e latching-relé e corte-religa.

Introdução: O ENERQ – Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia cujo tópico de interesse REI – Redes Elétricas Inteligentes (Smart-Grid) montado na FDTE-USP, tem presença importante na Pesquisa Aplicada e no Desenvolvimento da Distribuição de Energia Elétrica no país. No desenvolvimento do projeto do laboratório de redes elétricas inteligentes (REI), estabeleceu-se a montagem de uma infraestrutura de pequeno porte para incorporar todos os sistemas necessários à simulação de um ambiente que permitisse simular o cotidiano da operação de uma empresa de distribuição de energia elétrica. Apoiados por este conceito geral, vários sistemas foram desenvolvidos e implantados no laboratório, dentre destes um sistema físico denominado “Ilha de Medição” (IM), constituída por emuladores de cargas (EC)

e medidores inteligentes (MI). Na primeira fase do projeto, a Ilha de Medição concebida permitiu a simulação/emulação de qualquer situação de consumo/geração em consumidores de uma rede elétrica, fechando o ciclo para o gerenciamento de uma rede de distribuição, considerando a imposição de consumo/geração em consumidores individuais, sua respectiva medição e gravação no sistema de gerenciamento da medição. A primeira versão do Emulador de Carga, desenvolvida na fase de Pesquisa Aplicada do P&D do grupo EDP, permitiu impor aos medidores, de forma individual, condições de consumo ou geração de energia através do controle da amplitude e ângulo de fase das tensões e correntes presentes em cada fase do circuito de alimentação, emulando o comportamento de diferentes

consumidores presentes em uma rede elétrica que tenha sido simulada no emulador de redes elétricas. Outras características do Emulador de Carga importantes para as funcionalidades desejadas para a Ilha de medição, como a capacidade de geração de fenômenos relacionados à qualidade da energia (qualidade do produto) ficaram para a segunda fase deste P&D que agora se desenvolve. As características técnicas obrigatórias requeridas para a nova versão (upgrade) do Emulador de Carga são apresentadas neste documento

Especificação do emulador:

O emulador de cargas/geração deve permitir gerar os seguintes fenômenos:

A. Regime permanente senoidal em 60 Hz.

- Gerar tensões e correntes com amplitudes e ângulos de fase definidos via computador remoto e enviada pela rede Modbus de comunicação de dados de modo individual para cada canal de tensão e de corrente.

B. Geração de Harmônicos.

- Gerar tensões e correntes com composição harmônica conforme definido no item desta especificação, por meio de programação via rede de comunicação de dados Modbus.

3. Efeito de flicker (senoidal).

- a. Geração de pulsações na tensão de modo a resultar em valor de PST e PLT unitários;
- b. Geração do efeito de flicker apenas para os canais das tensões 1,2 e 3;
- c. Limitação para as frequências/amplitudes na geração do 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.

4. Variação de frequência.

- Gerar sinais de tensão e corrente com frequência na faixa entre 55 e 65 Hz, com resolução em passos de 1 Hz.

5. Variação de tensão de curta-duração.

- Uma interrupção temporária de tensão (amplitude entre 0 de 10%, duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto);
- Uma interrupção momentânea de tensão (amplitude entre 0 de 10%, duração entre 1 e 3 minutos);

6. Afundamento de temporária de tensão (SAG)

- Afundamento na tensão (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);

7. Elevação de temporária de tensão (SWELL)

- Elevação na tensão (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).

8. Correção da corrente e tensão de saída.

- Forma de calibração manual através do potenciômetro individual para cada os canais de tensões e correntes.
- Considerar o valor da resistência interna máxima de até 3 mΩ dos medidores (resistência do contato elétrico);
- A correção máxima na tensão e na corrente deve ser de até $\pm 5\%$, isto significa que estando a resistência do circuito de saída dentro do valor máximo definido, o emulador será capaz de corrigir os erros nos valores das

amplitudes das tensões/correntes em até $\pm 5\%$.

9. Eventos Contínuos

A. Capacidade de geração de sinais de corrente e tensão.

- Amplitude da corrente: 100mA a 10A;
- Amplitude da tensão: 50 a 250V;
- Ângulo de fase I,V de cada canal: 0 a 359° ;
- Potência do canal de tensão: 50VA;

B. Variação da frequência.

- Amplitude da tensão: 50 a 250V;
- Ângulo de fase I,V de cada canal: 0 a 359° ;
- Variação da frequência: 55 a 65Hz.

C. Cintilação (FLICKER)

- Geração tensões pulsações na tensão de modo a resultar em valor de PST e PLT unitários;
- Geração efeito de flicker apenas para os canais das tensões A,B e C;
- 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/%), geração de forma default um caso de cada vez.

D. Harmônicas

- Frequência da fundamental: 60Hz
- Todas as harmônicas de ordem ímpar;
- Geração de harmônicas: 05 mais a fundamental;
- Máxima ordem das harmônicas: 49;
- Amplitude da corrente: 100mA a 10A;
- Amplitude da tensão: 50 a 250V;

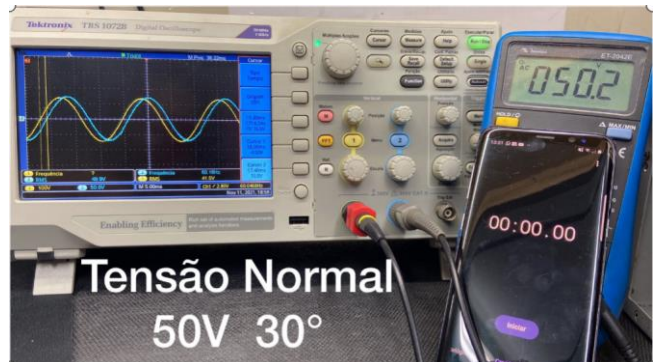
10. Resultados.

LUCAPEL COMERCIAL LTDA - C.G.C. 00.720.963 / 0001-60 - Inscr. Est. 636.151.175.118
Rua Issaco Coppini, 43 - CEP 09571-110-S. Caetano do Sul - S.P.
Tel.: (+11) 4232-3422 Fax.: (11) 4232-3424
e-mail: vendas@lucapel.com.br

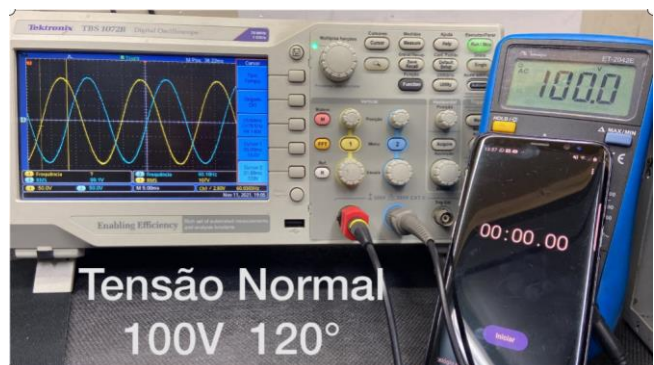
10.1 Geração da tensão.

A tensão de referência gerada no canal A, em amarelo é de $50V_{RMS}$ e 60Hz.

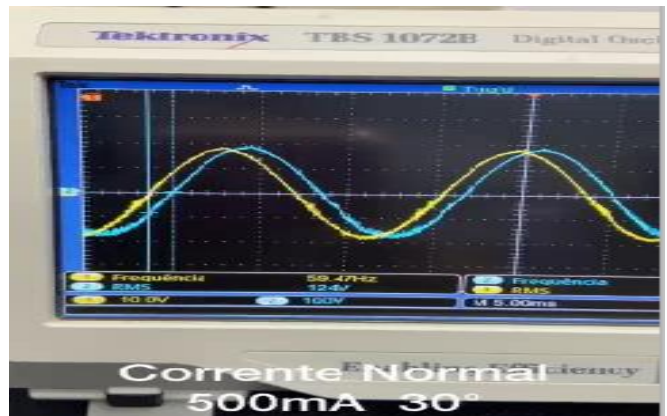
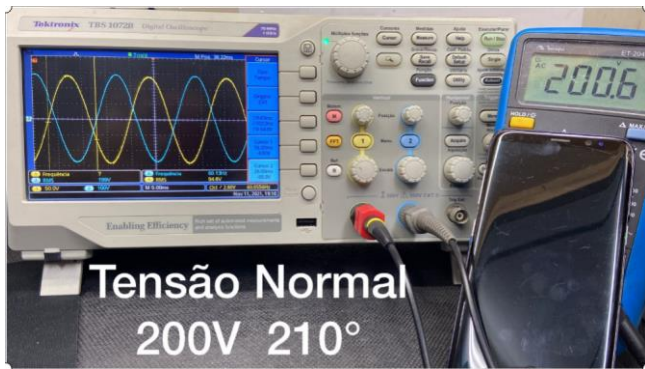
1. Canal B, em azul, tensão gerada de $50V_{RMS}$ e 60Hz com defasagem de 30° em relação ao canal A de referência.



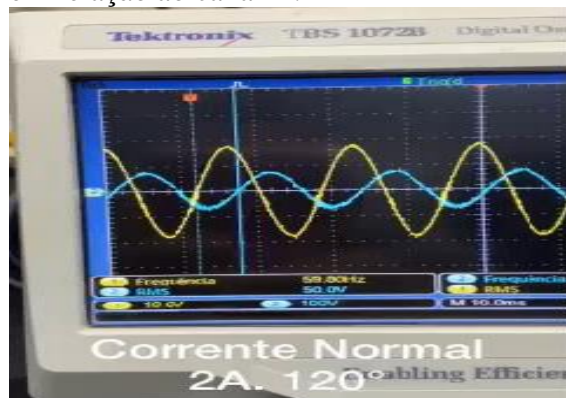
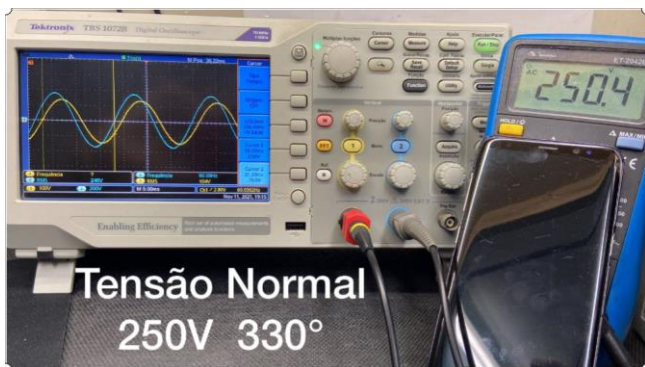
2. Canal B, em azul, tensão gerada de $100V_{RMS}$ e 60Hz com defasagem de 120° em relação ao canal A de referência.



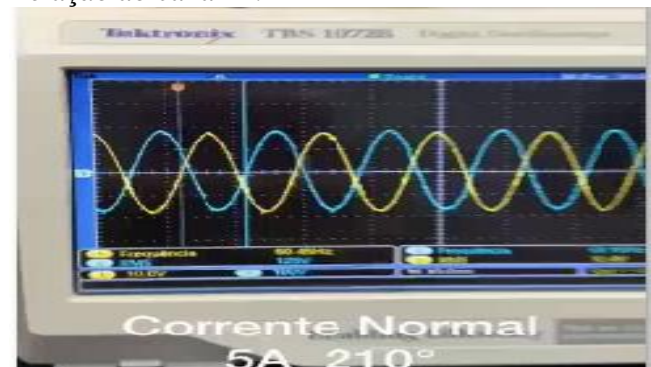
3. Canal B, em azul, tensão gerada de $200V_{RMS}$ e 60Hz com defasagem de 210° em relação ao canal A de referência.



4. Canal B, em azul, tensão gerada de $250V_{RMS}$ e 60Hz com defasagem de 330° em relação ao canal A de referência.



3. Canal D, em azul, corrente eficaz AC gerada de 5A e 60Hz com defasagem de 210° em relação ao canal A.

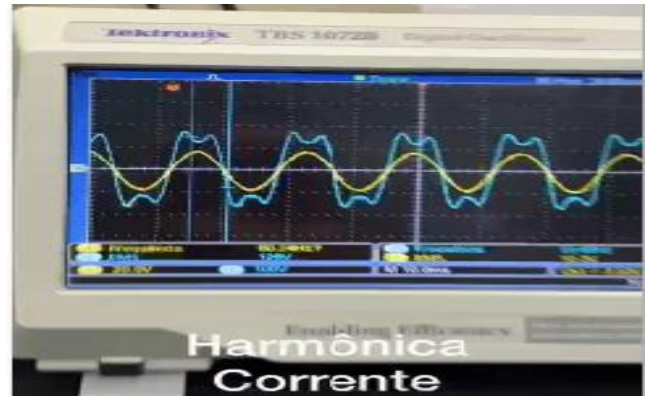
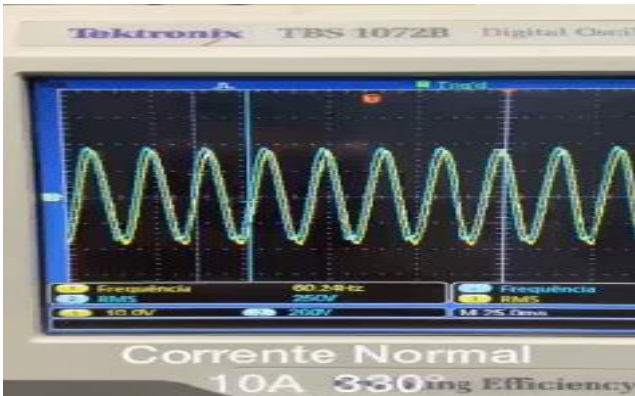


10.2 Geração de Corrente

A tensão de referência gerada no canal A, em amarelo $125V_{RMS}$ e 60Hz.

1. Canal D, em azul, corrente eficaz AC gerada de 500mA e 60Hz com defasagem de 30° em relação ao canal A.

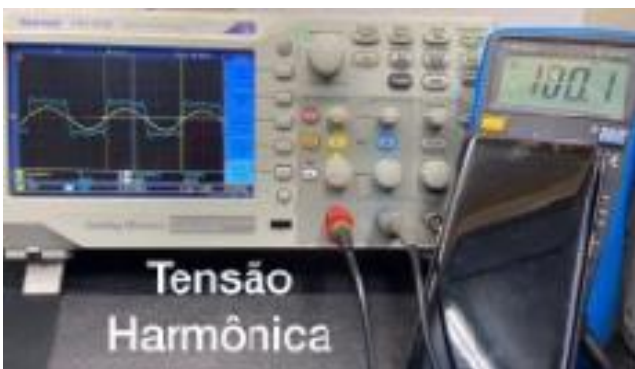
4. Canal D, em azul, corrente eficaz AC gerada de 10A e 60Hz com defasagem de 330° em relação ao canal A.



10.3 Geração de Harmônicas tensão e corrente

A tensão de referência gerada no canal A, em amarelo 125V_{RMS} e 60Hz.

1. Canal D, em azul, tensão eficaz AC gerada de fundamental 125V, 3.a harmônica 30V com defasagem de 180° e 5.a harmônica 20V com defasagem de 315° e 7.a harmônica 14V com defasagem de 160° e 11.a harmônica 9V com defasagem de 315° e 15.a harmônica 6V com defasagem de 180°.



Tensão Harmônica

2. Canal D, em azul, corrente eficaz AC gerada de fundamental 5A, 3.a harmônica 1,6A com defasagem de 180° e 5.a harmônica 1,0A com defasagem de 315° e 7.a harmônica 0,7A com defasagem de 160° e 11.a harmônica 0,5A com defasagem de 315° e 15.a harmônica 0,3A com defasagem de 180°.

10.4 Cintilação (FLICKER)

- 1 - Índice de modulação igual a 0,328%;
 - 2 - Índice de modulação igual a 0,260%;
 - 3 - Índice de modulação igual a 0,312%;
 - 4 - Índice de modulação igual a 0,432%;
 - 5 - Índice de modulação igual a 0,700%;
1. $u = 0,328\%$



Cintilação 6Hz

2. $u = 0,26\%$



Cintilação 10Hz

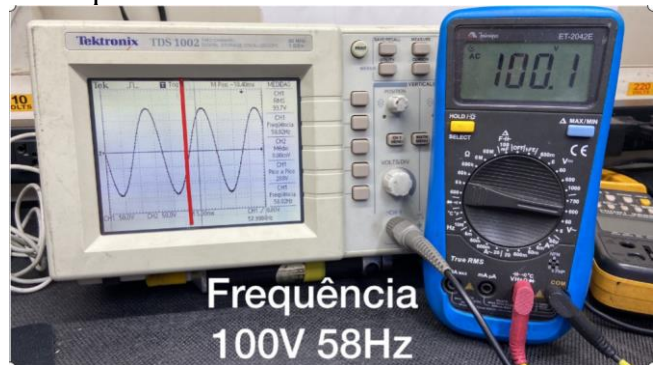
3. $u = 0,312\%$



4. $u = 0,432\%$



2. Frequência de 58Hz



5. $u = 0,70\%$



Frequência igual a 60Hz

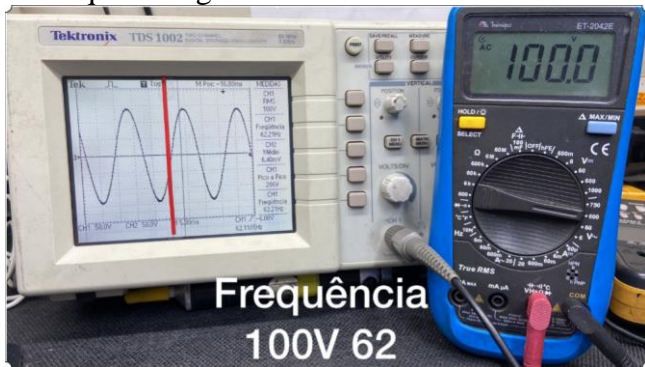


10.5 Variação de frequência

Tensão igual a 100V e as frequências selecionadas 55Hz, 55Hz, 60Hz e 62Hz.

1. Frequência de 55Hz

4. Frequência igual a 62Hz



Outros testes: Os fenômenos transitórios, como afundamento, elevação e interrupção com opções de tempo de curta e de longa duração são vídeos na maioria deles com duração de tempo de 1 a 3 minutos ou de curta duração com duração e ciclos de 60Hz.

Hardware do emulador: A arquitetura do emulador foi baseada na configuração mestre e escravo, sendo a função do mestre é receber a comunicação da programação via Modbus, decodificar e enviar os dados parametrizados para o escravo correspondente. Todos os escravos possuem um ID cujo endereço vai de 8 a 16, sendo os escravos de tensões de 8 a 13 e os escravos corrente de 14 a 16. Faz parte funcional do mestre selecionar o “tap” de corrente dos escravos de correntes, onde a primeira escala de corrente vai de 100mA a 1,0A e a segunda escala de corrente de 1,1A a 10A. A comunicação entre o mestre e os escravos é serial I2C com implementação de um sinal de interrupção ao final de cada transmissão serial de dados. Ainda faz parte da funcionalidade do mestre a monitoração da função corte e religa da energia gerada pelo emulador. Quando o mestre sente que houve um corte na corrente de fornecimento do emulador, a ação imediata é o corte interno no fornecimento da corrente e tensão gerada pelo emulador. O religamento se dará com a detecção da tensão na saída devido ao religamento da energia ou da corrente de saída e ação imediata é o fechamento do relé interno e a liberação da corrente de fornecimento do emulador. Embora o mestre tenha controle de qual escravo está operando em cada um dos

canais de tensão, pode ser escravo A ou escravo B de cada canal é função do mestre gerar o sinal de seleção para um multiplex. Da saída do multiplex o caminho primeiro é a normalização da tensão de saída para que o amplificador de potência possa acionar o elemento final que é um transformador de tensão, assim o multiplex deve entregar na saída um sinal de tensão para o amplificador de potência. Os escravos de tensões de cada um dos canais de tensões A e B operam alternadamente a cada envio do mestre para o canal da tensão e com isso evita de ocorrer um desligamento na tensão de saída e com isso a manutenção da energia nos medidores de energia acoplados ao emulador. Os escravos de tensões e correntes após o recebimento da programação é calculado uma tabela de pontos com cerca de mil a três mil pontos, isso depende do evento selecionado e assim que essa tabela é pronta e após receber um sinal do mestre em sincronismo com um sinal de referência da energia chamado de “zero-cross” da rede elétrica, a nova tensão será apresentada na saída. No caso da corrente o emulador tem somente um escravo para cada canal. Nesse caso há uma interrupção na troca de receita da corrente para uma atual. Os escravos de tensões controlam nos fenômenos transitórios o multiplex, pois está implementado nos escravos a rotina de temporizações e assim ele controla quando inicia a apresentação do fenômeno transitório e quando finaliza o fenômeno. O sinal analógico gerado nos escravos de tensões e correntes é 8bits e a tensão máxima de 3,3V. A frequência dos processadores é de 80MHz e o emulador recebe um sinal ethernet com o endereço do emulador correspondente e a informação recebida é chamada de “frame” que varia os campos de dois a 21 campos. A definição do tamanho ou do número de campos de cada “frame” dependerá do evento programado. A seguir os eventos que serão programados através de um terminal de computador a distância serão montados em um “frame”.

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°.

Exemplo: Evento normal canal 1, tensão 200V, 0, 0 e defasagem 180°

2	1	200	0	0	180°
---	---	-----	---	---	------

Evento normal canal 4, corrente 200mA, 0, 0 e defasagem 300°

2	4	2	0	0	300°
---	---	---	---	---	------

Evento normal canal 4, corrente 2,0A, 0, 0 e defasagem 150°

2	4	20	0	0	150°
---	---	----	---	---	------

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.

Exemplo: Evento 3, canal 1, 10% afundamento, 0, 0, gênero 0(ciclos), 30 ciclos (número de ciclos)

3	1	10	0	0	0	30
---	---	----	---	---	---	----

Exemplo: Evento 3, canal 2, 30% afundamento, 0, 0, gênero 1(segundos), 30s (número de segundos)

3	2	30	0	0	1	30
---	---	----	---	---	---	----

Exemplo: Evento 3, canal 3, 50% afundamento, 0, 0, gênero 2(minutos), 1min (número de minutos)

3	3	50	0	0	2	1
---	---	----	---	---	---	---

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.

Exemplo: Evento 4, canal 1, 10% elevação, 0, 0, gênero 0(ciclos), 30 ciclos (número de ciclos)

4	1	10	0	0	0	30
---	---	----	---	---	---	----

Exemplo: Evento 4, canal 2, 30% elevação, 0, 0, gênero 1(em segundos), 30 s (número de segundos)

4	2	30	0	0	1	30
---	---	----	---	---	---	----

Exemplo: Evento 4, canal 3, 50% elevação, 0, 0, gênero 2(em minutos), 3min (número de minutos)

4	3	50	0	0	2	3
---	---	----	---	---	---	---

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.

Exemplo: Evento 5, canal 1, 0, 0, gênero 0 (ciclos), 30 ciclos (número de ciclos)

5	1	0	0	0	0	30
---	---	---	---	---	---	----

Exemplo: Evento 5, canal 2, gênero 1(em segundos), 30 s (número de segundos)

5	2	0	0	0	1	30
---	---	---	---	---	---	----

Exemplo: Evento 5, canal 3, gênero 2(em minutos), 2min (número de minutos)

5	3	0	0	0	2	2
---	---	---	---	---	---	---

Evento variação 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 entre 55Hz à 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.

Exemplo: Evento 6, canal 1, tensão de 150V, 0, 0, defasagem de 90°, frequência de 58Hz.

6	1	150	0	0	90°	58Hz
---	---	-----	---	---	-----	------

Exemplo: Evento 6, canal 2, tensão de 100V, 0, 0, defasagem de 100°, frequência de 65Hz.

6	2	100	0	0	100°	65Hz
---	---	-----	---	---	------	------

Evento Cintilação

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 modulação	0,328	0,26	0,312	0,432	0,70

Exemplo: Evento 7. Canal 1, tensão de 200V, 0, 0, defasagem de 300°, gênero 1 “frequência de 6Hz” e taxa modulação 0,328

7	1	200	0	0	300°	1
---	---	-----	---	---	------	---

Exemplo: Evento 7. Canal 2, tensão de 100V, 0, 0, defasagem de 70°, gênero igual a 5 “frequência de 20Hz e taxa modulação de 0,70.

7	2	100	0	0	70°	5
---	---	-----	---	---	-----	---

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 harmônica. 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.

Exemplo: Evento 8, canal 1, tensão fundamental de 200V, 0, 0, defasagem de 50°, 3.a harmônica, tensão de 150V, defasagem de 20°, 5.a harmônica, tensão de 100V, defasagem de 40°, 7.a harmônica, tensão de 90V, defasagem de 120°, 9.a harmônica, tensão de 70V, defasagem de 150°, 11.a harmônica, tensão de 55V, defasagem de 30°.

8	1	200	0	0	50	3	150
20	5	100	40	7	90	120	9
70	150	11	55	30	-	-	-

Exemplo: Evento 8, canal 5, corrente da fundamental de 3,0A, 0, 0, defasagem de 50°, 3.a harmônica, corrente de 1A, defasagem de 20°, 5.a harmônica, corrente de 900mA, defasagem de 40°, 7.a harmônica, corrente de 600mA, defasagem de 120°, 9.a harmônica, corrente de 200mA, defasagem de 30°, 11.a harmônica, corrente de 100mA, defasagem de 30°.

8	5	30	0	0	50	3	10	20	5	9
40	7	6	120	9	2	30	11	1	30	-

Evento Liga Corte e Religa

Ao iniciar uma etapa onde a programação dos eventos deve ser enviada, todos os seis canais estarão sem corrente e tensão e com o evento corte e religa desligado. Após a programação e envio dos eventos para os canais o mestre passará a monitorar a corrente de cada canal. O canal será desligado na ausência da corrente e o canal será ligado através do “by-pass” relé quando a corrente e a tensão estiverem presentes. Na saída do emulador poderá ser conectado o medidor de energia que insere em série com o terminal de saída da corrente um “by-pass” relé podendo ser desligado conforme a finalidade, por exemplo, simulando a falta de pagamento da conta de energia. Quando o emulador sente que houve o desligamento do “by-pass” externo há imediatamente o desligamento do “by-pass” interno e com isso

não haverá leitura da tensão no sensor de tensão. Somente após o religamento do relé externo de “by-pass” haverá a leitura da tensão pelo sensor de tensão e daí o mestre religa o relé interno de “by-pass” e o canal ficará agora em operação normal e monitorado novamente pelo mestre.

Exemplo: Evento 9 é ativado todos os canais após o envio do “flag” liga para a variável interna “corte e religa”. O “flag” é verdadeiro com a informação do segundo campo de 0 a 9.

9	0-9
---	-----

Conclusão: O projeto foi concluído com sucesso e foi utilizada uma tecnologia atual na confecção dos escravos.

A independência entre os canais de tensões e de correntes permite ao programador ter um “frame” com poucos campos e diminui o risco de enviar mensagens incompletas para o emulador.

Usando uma plataforma do microcontrolador Arduíno, embora somente o mestre utilizou de um processador da família “Arduíno due” sendo os escravos realizados com o processador ESP 32. A precisão nos valores de saída tanto das correntes como das tensões permite o ajuste local. Não foi necessário a construção de operação manual devido a utilização de um software de domínio público como programador em Modbus. Todas as expressões matemáticas utilizadas nas construções das tabelas foram simuladas utilizando o programa Matlab.