

Relatório parcial referente ao projeto de iniciação científica voltado à construção de um sistema equalizador de tensão.

Aluno

Fabiano Aparecido Marino

Departamento de Engenharia Elétrica/EESC/USP

Orientador

Profº Dr. Ricardo Quadros Machado

Departamento de Engenharia Elétrica/EESC/USP

São Carlos – SP-(31/01/2014)

Índice:

Resumo.

1.0-Introdução.

2.0-Topologias de equalização.

2.1-Método passivo.

2.2-Método ativo.

2.2.1-Fixed shunting resistor.

2.3-Métodos passivos.

2.4-Capacitor shunting.

2.5-Capacitor shunting chaveado.

2.6-Capacitor único chaveado.

2.7-Capacitor duplo chaveado.

2.8-Modulação por baterias.

3.0 Ultracapacitores.

3.1-Modelos circuitais.

4.0-Simulações.

4.1 Fixed shunting resistor.

4.2-Capacitor shunting.

4.3-Capacitor shunting chaveado.

4.4-Capacitor único chaveado.

4.5-Capacitor duplo chaveado.

4.6-Modulação por baterias.

5.0-Construção e análise do equalizador de tensão proposto no presente projeto.

5.1-Construção do componente.

6.0-Intenções para o próximo semestre.

7.0-Bibliografia.

Resumo.

A utilização de fontes alternativas de energia, tais como painéis fotovoltaicos, células de combustível ou geradores eólicos, exigem o prévio armazenamento da energia gerada e posterior envio para rede para garantir geração ininterrupta de energia. No que se referem ao armazenamento de energia, os ultra-capacitores tem fundamental importância quando se deseja manipular rápidos transientes de energia. Para tanto, a sua utilização exige que a tensão em seus terminais seja delicadamente controlada, desta forma, é necessário à construção de um sistema equalizador de tensão. Portanto, o principal objetivo deste projeto é a elaboração de um sistema equalizador de tensão para ultra-capacitores que utilizados em sistemas de geração distribuída de energia.

Palavras-chave: eletrônica de potência, ultra-capacitores, alto armazenamento de energia, equalizador de tensão, fontes alternativas, geração distribuída.

1.0 Fontes alternativas de energia:

Havendo a necessidade de se realizar trabalho, o homem buscou por meio de engenharia diferentes formas de se obter energia, aonde houve a tentativa de retirá-la do movimento das águas, do carvão e, após uma grande evolução tecnológica, viu-se que a conversão de uma forma de energia na outra e posterior armazenamento em bancos de baterias especializado nas formas de energia em questão, é uma útil e eficiente forma de se lidar com as necessidades energéticas de um grupo. Hoje em dia, uma grande parcela da energia total gerada é na forma de eletricidade e é oriunda de usinas hidrelétricas e termoelétricas, sendo uma das mais importantes formas de energia. Como pontos fortes dessa forma de energia pode-se citar fácil transporte por meio de sistemas de transmissão, além de fácil armazenamento e bom domínio da tecnologia empregada.

Após um tempo de uso tais fontes passaram a expressar seus pontos negativos que hoje se fazem bastante alarmantes: em primeiro lugar é possível mencionar o aquecimento global que se relaciona diretamente com as fontes citadas anteriormente, afinal a combustão do carvão, usado em termoelétricas e do petróleo liberam gás carbônico que é o principal agente do efeito estufa. Outro ponto a ser citado, e não de menor repercussão, são os alagamentos causados pelas hidrelétricas em grandes áreas próximas a rios, devastando a mata da região e sendo danoso ao micro-clima local [1][2].

Levando em consideração tais fatores, um importante objetivo da sociedade moderna é buscar novas fontes de energia elétrica que minimizem os efeitos colaterais sobre o meio ambiente, visando reverter à situação de desequilíbrio ambiental que o uso de combustíveis fósseis trouxe ao planeta.

Dentro desse contexto existem várias outras fontes de energia, como a nuclear, por exemplo, que, dentre as formas alternativas, é a mais explorada. Outros exemplos são as fontes que utilizam da energia solar irradiada sobre a superfície terrestre, conhecida como fonte solar. Uma forma também alternativa é utilização da energia presente no vento, chamada de usinas eólicas. Tais fontes já estão em uso, apesar de ainda serem inexpressivas quando comparada com a quantia gerada por fontes térmicas e hidrelétricas. Abaixo encontram-se algumas imagens de sistemas de geração de energia alternativos ao hidrelétrico.

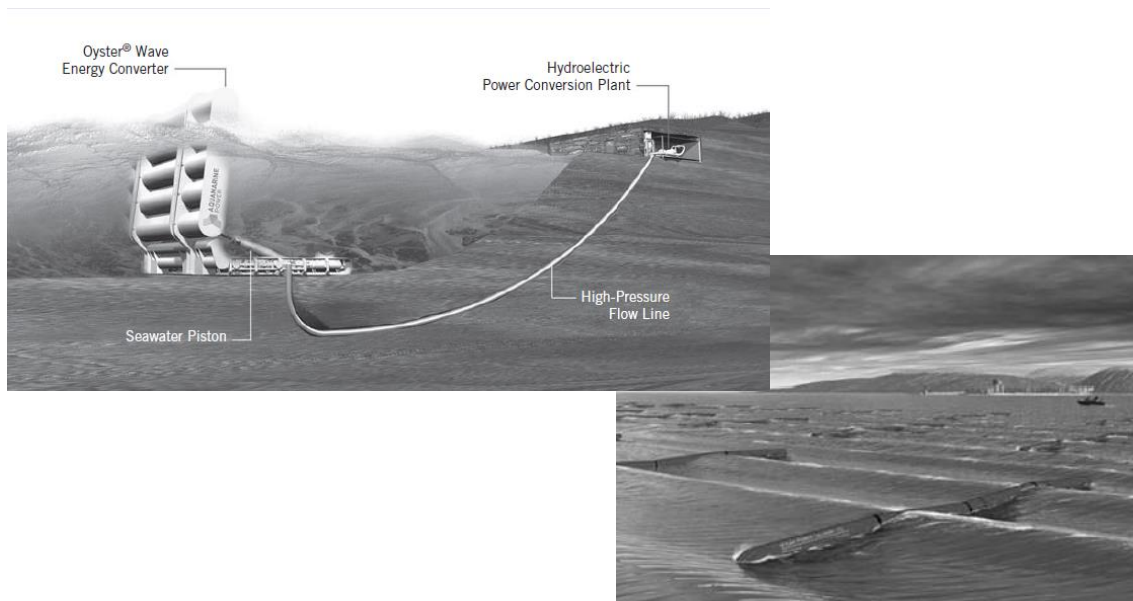


Figura 1: Fontes alternativas que geram energia devido ao balanço da água.

**Imagens: Fox and McDonalds
Introduction to Fluid Mechanics**

Ambas as imagens expressam estruturas que retiram energia da água, porém

Não do fluxo que passa por uma turbina, assim como acontece nos modelos de geração hidrelétrica comum, o que exige armazenamento de água em grandes represas de armazenamento. A estrutura apresentada retira energia do balanço da água, seja esse balanço no fundo do mar ou na superfície, assim como mostram as imagens. Abaixo encontra-se uma imagem de uma estação de geração solar de energia, construída por meio de espelhos que direcionam a luz solar a um único ponto, que por sua vez aquece um container, aonde ocorre a geração de energia.

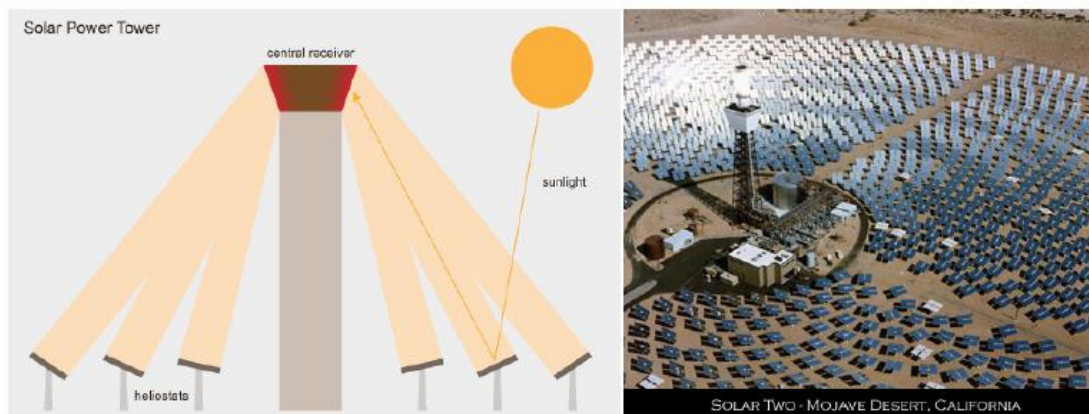


Figura 2: Fonte alternativa de energia que trabalha com irradiação solar.

Imagens: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira
Ministério de Minas e Energia

A energia solar é bastante expressiva do ponto de vista do volume de irradiação sobre a superfície do planeta. Anualmente, tal energia é maior do que a soma das outras energias, contando ainda com baixo impacto ambiental, sendo este um aspecto bastante favorável a sua utilização. Apesar disso, devido às perdas e eficiência dos sistemas fotovoltaicos que são utilizados para captar irradiação e transformá-la em energia elétrica, ainda não é possível ter o máximo aproveitamento da energia da irradiação solar. A Figura 1 mostra a comparação entre o potencial energético da irradiação solar anual da terra e o equivalente do potencial energético comparando com as demais fontes de energia utilizadas [3].

Uma grande vantagem dos sistemas fotovoltaicos é o fato de que as instalações de suas estações geradoras podem ser feitas em pequenas unidades, de forma distribuída e próxima das cargas, contribuindo para a flexibilidade do seu posicionamento e diminuindo a necessidade de sistemas de transmissão.

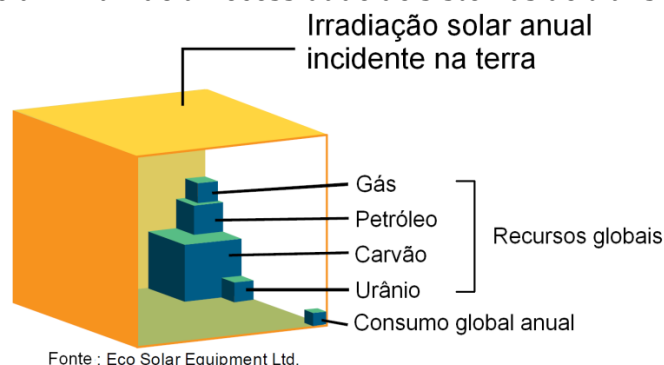


Figura 3: Proporção da energia irradiada sobre a superfície solar com relação as demais fontes de energia.

Assim como as estações de geração solar podem ser construídas em pequenas unidades, as fontes de geração eólica também fazem uso de tal propriedade, tornando-as bastante versáteis quanto ao seu posicionamento, limitando-se ao fato de que é fundamental a instalação em regiões com ventos constantes para que haja o máximo aproveitamento desses sistemas.

Sistemas armazenadores de energia são necessários para essas fontes devido à inconstância da geração, podendo inclusive ser nula em determinado momento do dia, como em sistemas fotovoltaicos durante a noite (PV). Desta forma, é necessário um estoque de energia para manter o fornecimento constante quando houver ausência ou insuficiência da irradiação ou vento.

Sistemas de armazenamento baseado em baterias é uma solução viável para acúmulo de energia de sistemas ou eólicos, uma vez que elas são utilizadas para grandes armazenamentos de energia e, posteriormente, utilizadas para fornecer essa energia de forma contínua para a rede ou carga. Entretanto, as baterias não são capazes de suprirem transitórios de energia, em que há a necessidade de fornecimento de potência em curtos intervalos de tempo, logo, os ultra-capacitores são essenciais para atuarem nessas situações, pois sua capacidade de rápida descarga pode suprir a necessidade de transientes de potência para sistemas conectados com a rede [4].

Na Figura 2 tem-se um esquema da estruturação e integração das fontes alternativas, sendo este o objetivo de montagem do trabalho de doutorado a que o presente projeto de IC se direciona, na qual é mostrado um PV, banco de baterias e ultra-capacitores conectados a um barramento cc através de conversores cc-cc e um aerogerador conectado no mesmo barramento, através de um conversor ca-cc. Na sequência, o barramento cc é ligado à rede através da interface de um conversor cc-ca [3]. Os equalizadores de tensão encontram-se conectados aos terminais dos ultra-capacitores.

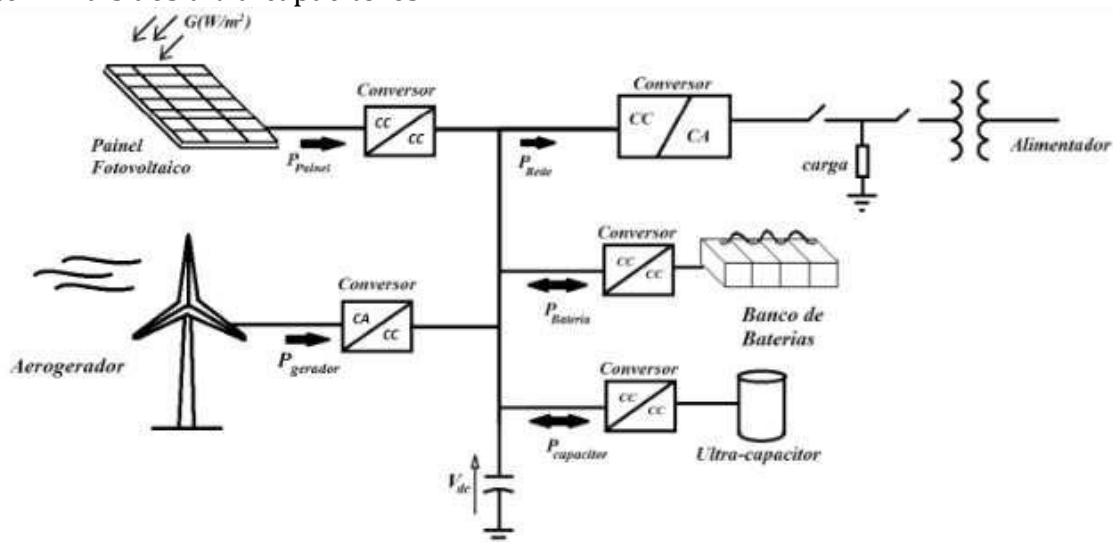


Figura 4: Estrutura de geração de energia baseada em irradiação solar e eólica.

2.0 Equalizadores de tensão:

Muitos dos sistemas de geração de energia desenvolvidos possuem como base uma fonte natural de força motriz, como exemplo pode-se citar as fontes eólica e solar, além da hidráulica, o que os coloca dependentes dos fatores

climáticos da região quanto à geração ou não de energia. Desse modo, a fim de garantir o fornecimento em momentos de geração nula, como é o caso da geração solar a noite, se faz necessário que a mesma seja armazenada para que posteriormente ocorra seu consumo, conforme as necessidades solicitadas pela rede [8].

Tendo esta questão em vista, se faz necessário o uso de elementos armazenadores de energia, aonde tem-se como opções capacitores de grande porte, mais conhecidos como ultra-capacitores e baterias. Os bancos de armazenamento formados por baterias e ultra-capacitores constituem uma estrutura bastante eficiente, haja vista que as baterias possuem alta capacidade de armazenamento enquanto os ultra-capacitores não armazenam grandes quantias, porém fornecem energia em alta potência, sendo muito eficientes em momentos de pico de consumo. Aos sistemas de armazenamento formados por mais de um tipo de elemento armazenador diz-se ser um sistema híbrido de armazenamento [11].

O banco armazenador é uma parte muito importante do projeto, pois o mau funcionamento do mesmo compromete toda a estrutura, afinal é dele que sai a energia para se realizar o trabalho a que o projeto foi direcionado. Para garantir o seu ótimo funcionamento busca-se monitorar as grandezas que afetam seu desempenho, como sua temperatura, processo de carga e descarga, estado de carga e saúde dos elementos, tempo restante de vida e, além de outros, o balanceamento da tensão ao longo das células de conexão entre os elementos armazenadores, sendo este último fator o mais relevante [5].

Por balanceamento de tensão, ou equalização de tensão, termo bastante utilizado, entende-se como sendo o processo de atuar no sistema de modo a fazer com que diferença de tensão nas células de armazenamento fique em torno de valores próximos uma das outras, e, além disso, evitando que a célula com menor tensão seja sobrecarregada no processo de carregamento.[6][12]. Muitos são os sistemas desenvolvidos para realizar tal tarefa. Uma breve revisão das topologias de equalização é feita neste trabalho, bem como a realização de simulações utilizando o software Proteus.[5][6][12][13]

Abaixo encontra-se um diagrama esquemático das diferentes maneiras de se equalizar a tensão nos terminais das células de armazenamento, expressando o grande número de sistemas desenvolvidos [5][6][12][13]. Em primeira instância os métodos de equalização dividem-se em passivos e ativos, o que classifica o processo segundo o consumo ou não de energia ao equalizar a tensão nas células. Dentro de cada um desses aspectos há outras subdivisões que versam quanto ao elemento utilizado, que no caso ativo são resistores, e no passivo podem ser capacitores, indutores ou conversores de energia. Para cada uma das possibilidades de elemento utilizado há ainda divisões que referem-se ao processo ser chaveado ou não e a características do elemento utilizado, como enrolamentos da bobina indutora e o método de conversão dos conversores.

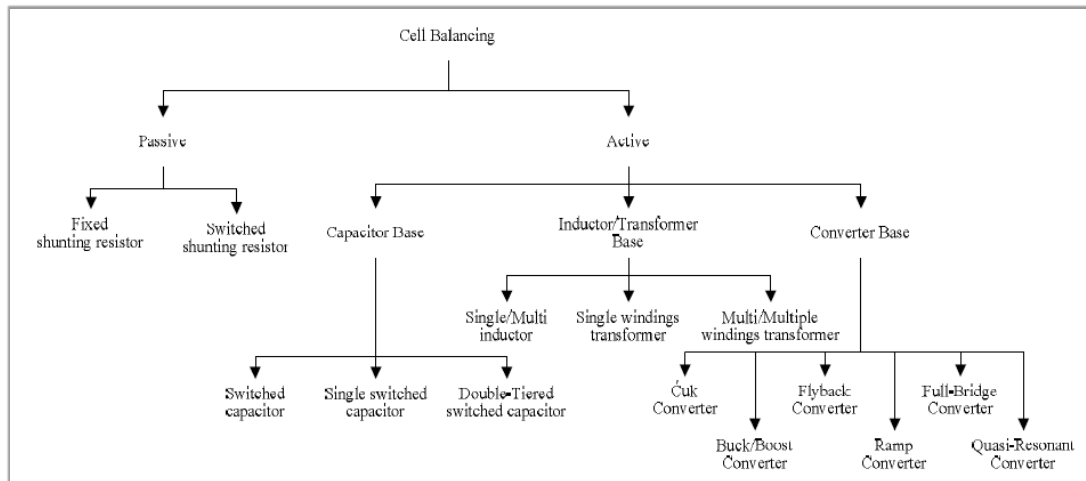


Figura 5: Divisões dos métodos de balanceamento de tensão em células armazenadoras[1].

2.1-Método Passivo.

Os métodos passivos caracterizam-se por permitirem o fluxo de energia das células mais carregadas para as menos, sendo que esta passa por um componente passivo pelo qual uma parte do excesso de energia armazenado em uma das células é dissipado, de forma a levar tensão na referida célula ao seu valor equalizado. Devido ao fato de que uma parte da energia armazenada é consumida durante o processo de equalização este método não é eficiente, além de outros entraves relacionados ao tempo de equalização. O resistor utilizado pode ser tanto chaveado como fixo[5][10], dependendo da topologia utilizada.

2.2-Método Ativo.

Estes métodos fazem o processo de equalização, ou seja, retiram energia das células mais carregadas direcionando-a para as menos, sem que uma parte da energia armazenada seja consumida. Dentre os elementos utilizados para realizar a equalização encontram-se capacitores e indutores bem como conversores, sendo que tais podem ser chaveados ou não.[5][6][10]

2.2.1-Fixed Shunting Resistor.

Consiste no mais simples dos métodos de equalização existente, pois é constituído somente de um resistor por onde o excesso de energia presente nas células mais carregadas é direcionado para as menos carregadas. O fluxo de energia ocorre naturalmente, pois células mais carregadas possuem a tensão em seus terminais mais elevada e, lembrando que a corrente flui do maior para o menor potencial, o fluxo ocorre naturalmente. Conforme a célula menos carregada recebe energia a tensão em seus terminais aumenta gradualmente, até que seja igual a da célula que estava com excesso de energia, terminando assim o processo de equalização.

Uma das possibilidades deste método é utilizando um resistor fixo, que, como foi descrito logo acima, é por onde a energia será transferida da célula mais

carregada para a menos carregada. Longo tempo de equalização além da necessidade de um controle térmico, devido a constante dissipação de energia, são características desta topologia que fazem dela um método pouco eficiente. A **Figura 2** presente abaixo expressa a topologia deste circuito equalizador.

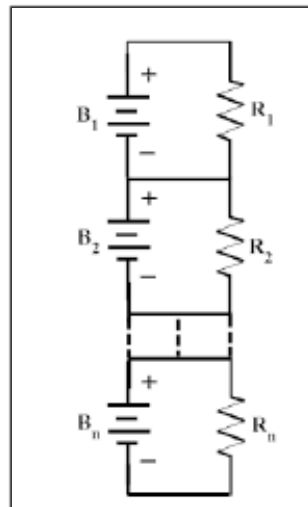


Figura 6: Topologia equalização shunting não chaveada[1].

A outra possibilidade dentre os equalizadores shunting difere da anteriormente apresentada apenas pela presença de uma chave na célula de armazenamento, fazendo com que o fluxo de energia da célula mais carregada para a menos não ocorra de maneira contínua. Há, dentro deste tipo de topologia, dois modos de se efetuar o chaveamento: o primeiro é monitorando todas as chaves de um único modo, fazendo com que o processo de descarregamento não seja contínuo, o outro utiliza um sistema inteligente de controle que verifica o desbalanço de tensão para posteriormente chavear o sistema, sendo que a chave a ser ativada é escolhida de modo que o processo seja o mais eficiente possível. A **Figura 3** presente abaixo expressa esta topologia.

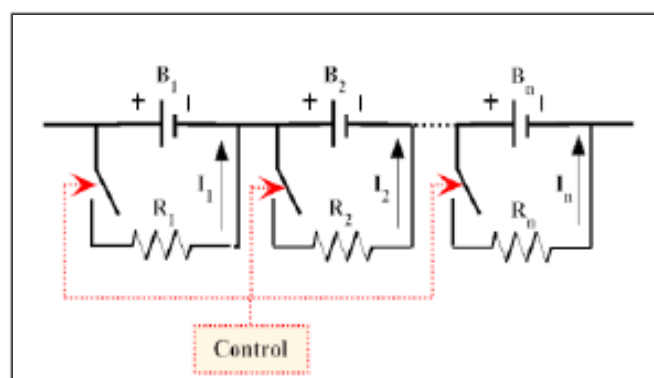


Figura 7: Topologia de equalização shunting chaveada[1].

Apesar de apresentar os mesmos entraves do método de equalização com resistor fixo, esta topologia possui um tempo de equalização relativamente menor, sendo uma característica positiva desta topologia.

2.3-Métodos passivos.

2.4-Capacitive shunting methods.

Devido ao elemento utilizado para permitir o transporte de energia das células mais carregadas para as menos deixar de ser um resistor, os sistemas de equalização deixam de consumir uma parte da energia armazenada durante o processo, passando a serem classificados como métodos passivos de equalização. Um possível componente a se utilizar, ao invés de resistores, são os capacitores, bastando que estes sejam conectados em paralelo com as células de armazenamento. Tal topologia pode ser classificada em três categorias: capacitor chaveado, capacitor chaveado único e capacitor duplo conectado.

2.5-Capacitor Chaveado.

O método de equalização com capacitor chaveado requer $n-1$ capacitores e $2n$ chaves para balancear n células. O controle utilizado possui somente 2 estados, sem a necessidade de um controle inteligente. Pode atuar tanto no ciclo de carga como de descarga, sendo uma desvantagem desta topologia seu longo tempo de equalização. A **Figura 4**, presente abaixo, ilustra esta topologia.

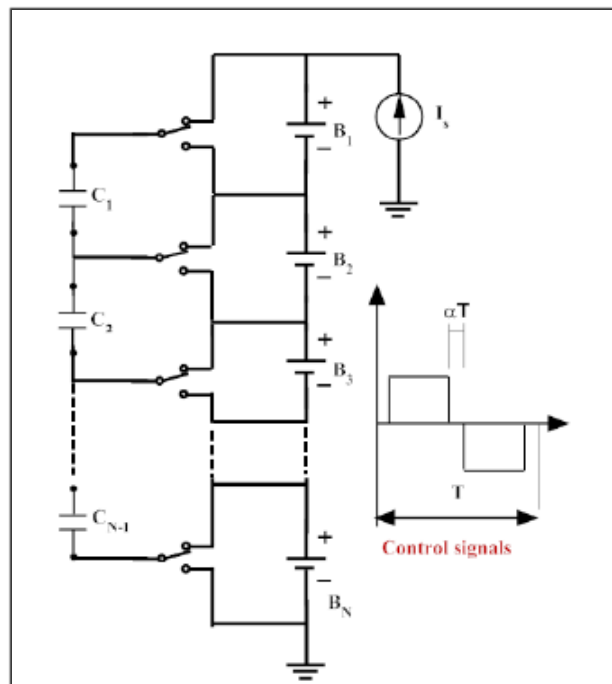


Figura 8:Topologia Capacitor Chaveado[1].

2.6-Capacitor único chaveado.

Esta topologia pode ser considerada como uma derivação da topologia capacitor chaveado, porém utiliza um único capacitor, como mostrado na **Figura 5**, presente abaixo. Necessita $n+5$ chaves para balancear n células. A estratégia de controle utilizada consiste na detecção da maior e menor diferença de potencial e chaveia as correspondentes chaves de modo a permitir o fluxo de energia dentre

estas células. Outras estratégias de controle podem ser utilizadas de modo a diminuir o tempo de equalização.

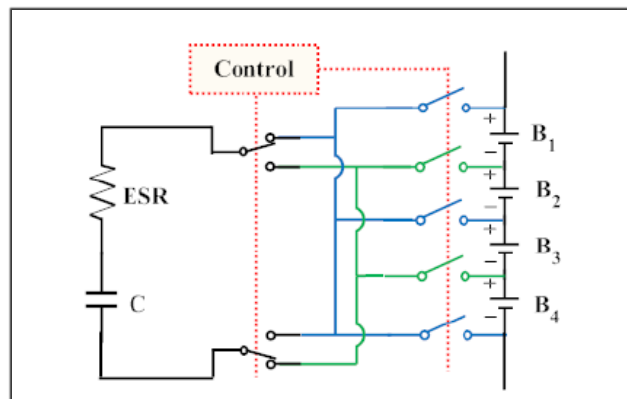


Figura 9: Topologia de equalização capacitor único chaveado[1].

2.7-Capacitor duplo chaveado.

Também é uma derivação da topologia capacitor chaveado, sendo a diferença relacionada ao uso da combinação de capacitores assim como ilustrado na **Figura 6**, presente abaixo. Necessita de n capacitores e $2n$ chaves para balancear n células. A vantagem desta topologia é que o segundo resistor presente na malha reduz o tempo de equalização para um quarto do tempo necessário relativamente a topologia capacitor chaveado. Uma outra propriedade é que este atua tanto no ciclo de carga como descarga.

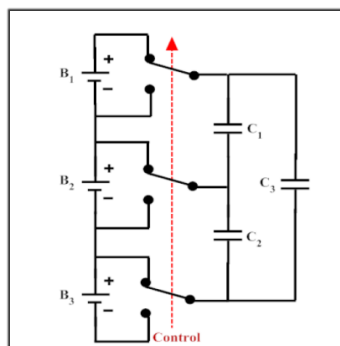


Figura 10: Topologia capacitor chaveado duplo[1].

2.8-Modularização por baterias.

Trata-se de uma topologia de equalização que utiliza capacitores para realizar transferência de carga de uma célula para outra, realizado a equalização por grupos ou módulos. Dentro de cada módulo encontra-se separadamente células individuais de equalização, o que diminui o tempo de equalização e, por outro lado, aumenta o número de chaves e capacitores a ser utilizado. A quantidade de componentes utilizados nesta topologia se divide em $n-1$ capacitores de baixa tensão, 1 capacitor de alta tensão e $2n+4$ chaves bidirecionais.

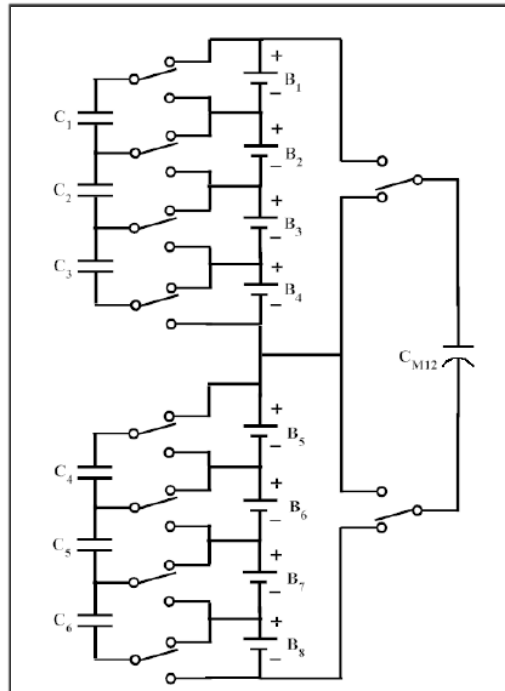


Figura 11: Topologia de equalização modulação por baterias[1].

3.0-Ultra-capacitores.

Ultra-capacitores são elementos armazenadores de energia que diferem dos capacitores convencionais apenas no que se refere à tecnologia utilizada para aproveitar ao máximo as características que confere a esses componentes sua capacidade armazenadora de cargas. Lembrando que os capacitores armazenam energia na forma de campo elétrico, sendo este campo provindo de cargas armazenadas nas porosidades das placas que constituem o mesmo, para elevar a capacitância do componente basta aumentar a capacidade das placas de armazenarem cargas em sua superfície, ou atuar modificando a proximidade das placas, que quanto mais próximas produzem um campo de maior intensidade, e, culminantemente, uma maior capacitância. Elevando ao máximo essas duas propriedades pode-se conseguir valores elevados de capacitância, o que foi feito na aplicação da tecnologia de ultra-capacitores.

A descrição feita anteriormente compara os capacitores com os ultra-caps, nomenclatura bastante utilizada na literatura, apenas em um aspecto construtivos, pois de um modo mais descritivo estes diferem bastante. Os capacitores comuns são nada mais que dois condutores separados por um material não condutor, enquanto os ultra-capacitores aproximam-se das baterias no que se refere a estes serem dois eletrodos imersos em um eletrolítico separado por uma membrana iônica. A **Figura 8** abaixo expressa este princípio construtivo[14].

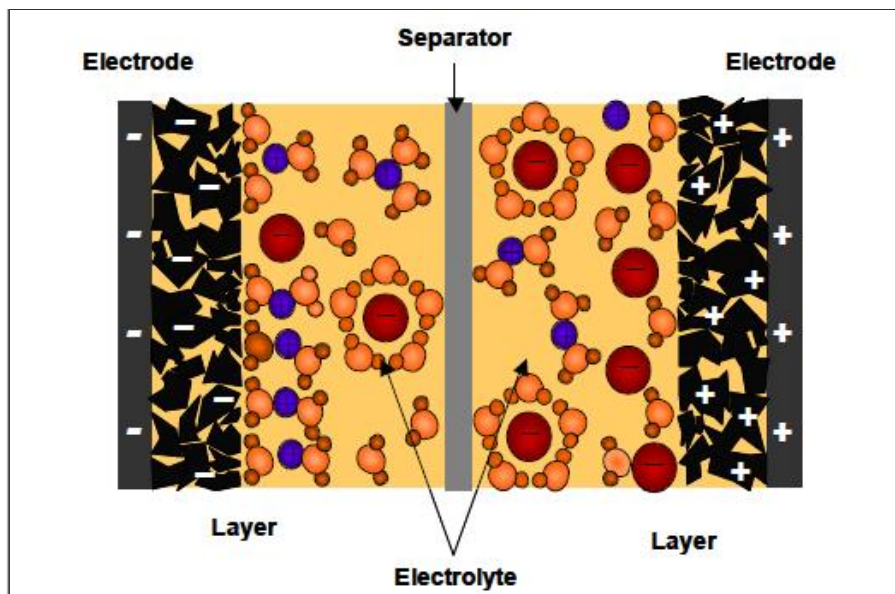


Figura 12: Estrutura construtiva dos Ultra-Capacitores[10].

Os ânions e cátions da solução são atraídos para próximo das placas positivas e negativas, sem que haja transferência de cargas, como mostra a **Figura 8**, por meio da estrutura separadora, formando uma fina camada entre os íons e os eletrodos, sendo análoga a separação entre as placas dos capacitores comuns. O nome capacitor de dupla camada (Double Layer Capacitor) refere-se a esta estrutura de duas camadas. [14].

Os ultra-capacitores são classificados em diferentes categorias conforme o material utilizado na construção do eletrodo, sendo os mais comumente utilizados metais óxidos, carbono e polímeros, bem como a composição do material eletrolítico, variando entre aquosa, orgânica e polímera [14][15]. O presente trabalho não se aprofundará nestes aspectos, pois é de interesse versar sobre o comportamento destes com relação a um modelo circuital que os represente e não quanto as tecnologias de engenharia química referentes a sua construção.

3.1- Modelos Circuitais de Ultra-capacitores.

O crescente uso dos ultra-caps trouxe a necessidade prática a que a maior parte dos sistemas de engenharia estão submetidos: a grande vantagem, ou necessidade, de simular os efeitos do sistema em questão antes de construí-lo, evitando o grande desastre de construir algo e que posteriormente não funcione conforme esperado. Assim, buscou-se desenvolver modelos que representem o comportamento deste componente em função de outros práticos presentes em engenharia elétrica, tais como resistências e capacitores comuns, possibilitando prever o funcionamento do mesmo em seus ciclos de carga e descarga [16, 17, 18,19].

O valor dos componentes que constituem o modelo equivalente do ultra-cap em questão varia conforme características do modelo utilizado e segundo os seguintes aspectos construtivos: resistência do solvente eletrolítico e do material cujo eletrodo é formado, porosidade da membrana, e qualidade da conexão do eletrodo-coletor [19][14].

O modelo de ultra-capacitor utilizado no presente projeto pertence a serie Maxwell K2, tendo capacitância de 3000 Faradays, sendo sua tensão de plena carga em torno de 2.7 volts. A imagem do componente encontra-se abaixo, na **Figura 9**



Figura 13: Ultra-capacitor Maxwell de 3000F.

Abaixo, nas Figuras 10 a 13 se encontram alguns modelos circuitais desenvolvidos para expressar o comportamento de ultra-capacitores DLCs (Double Layer Capacitor). Os métodos, basicamente, se utilizam de diferente ramos contendo capacitores e resistências ligados em paralelo com mais combinações deste tipo. O número destas combinações utilizadas é uma das possíveis formas de se classificar o modelo utilizado, bem como a devido a presença de capacitâncias variáveis presentes no circuito [19][14].

Os valores dos parâmetros presentes nos circuitos simuladores provem da análise da curva de carregamento do mesmo quando alimentado por uma corrente constante, porém existem modelos que exigem equipamentos mais sofisticados, tal como o modelo de linha de transmissão [19][14].

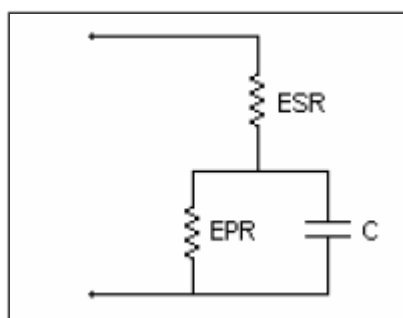


Figura 14: Modelo clássico circuital ultra-capacitor[16].

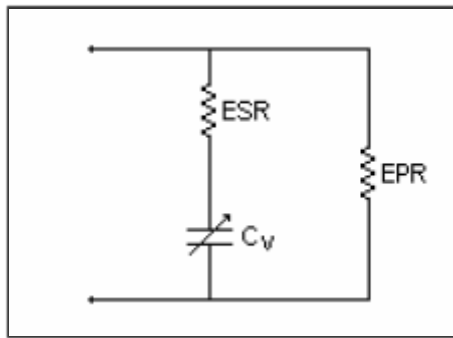


Figura 15:Modelo circuital ultra-capacitor de capacitância variável[16].

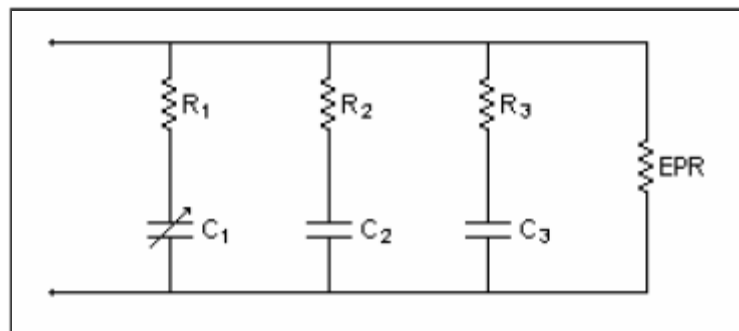


Figura 16:Modelo circuital de ultra-capacitor de três ramos[16].

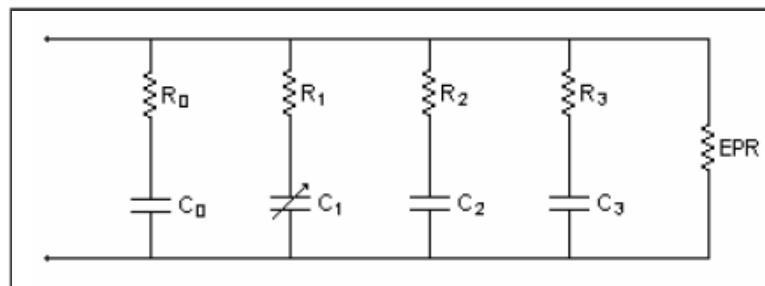


Figura 17:Modelo circuital de ultracapacitor de quatro ramos[16].

Importante destacar que os termos ESR e EPR são siglas para os seguintes conceitos: equivalent series resistance e equivalent parallel resistance. Tais conceitos expressam a resistência relacionada à construção do componente, afinal, ao contrário dos componentes ideais, os utilizados na realidade não possuem somente características relacionadas à função para a qual foram projetados. Assim, busca-se representá-los com sendo a característica preponderante em série ou paralelo com uma resistência, surgindo assim os conceitos de ESR e EPR.

Os circuitos apresentados serão simulados buscando verificar os seus comportamentos, bem como procurar o modelo que melhor se encaixe no comportamento exibido pelo ultra-capacitor utilizado no presente projeto. O software utilizado para realizar as simulações será o Matlab/Simulink.

4.0-Simulações:

4.1-Fixed Shunting Resistor.

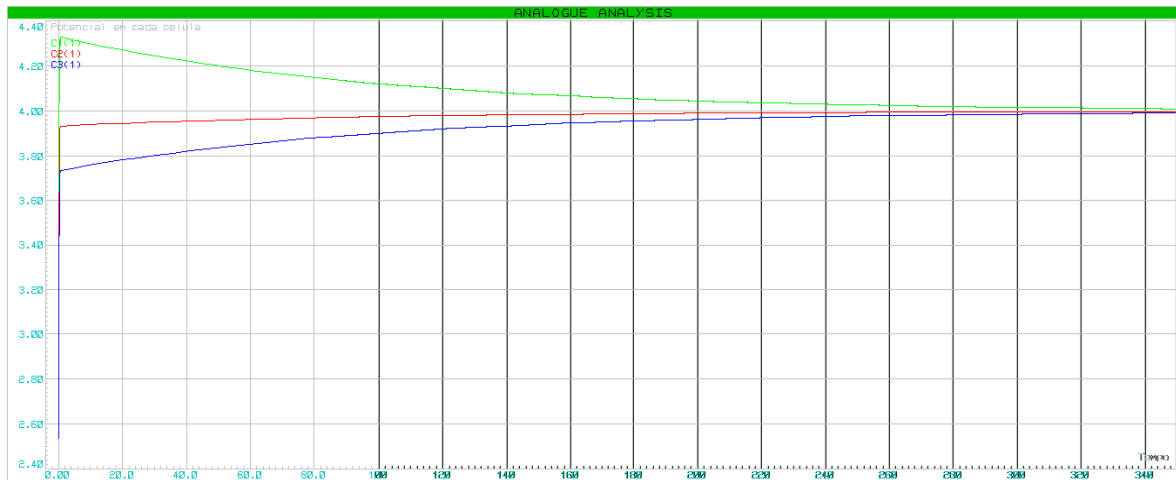


Figura 18:Simulação da topologia fixedshunting resistor.

As linhas representam em cada uma das simulações a diferença de potencial ao longo de cada célula. Vê-se que inicialmente cada uma das células encontra-se com um valor diferente de tensão e, conforme o passar do tempo, a tensão tende a um valor comum, efetuando assim a equalização. Longo tempo de equalização além do problema relacionado ao consumo de energia são fatores limitadores desta topologia.

4.2-Fixed Shunting Resistor chaveado.

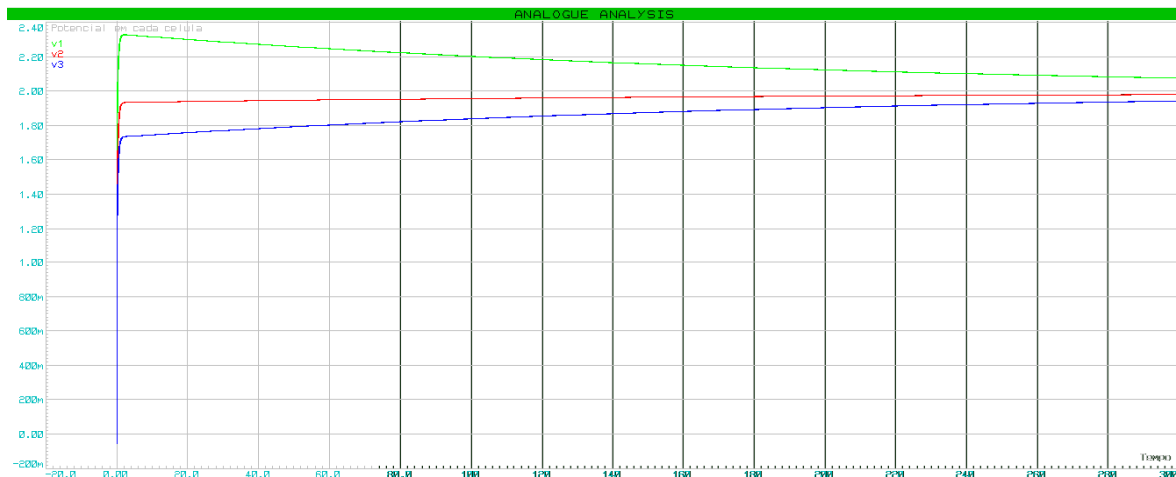


Figura 19:Simulação da topologia shunting resistor chaveado.

A topologia é a mesma da utilizada com o resistor fixo, porém cada uma das células é chaveada durante o processo. Problemas relacionados ao longo tempo de equalização e ao consumo de energia, assim como no caso do resistor fixo, são problemas relacionados a esta topologia.

4.3-Capacitor Chaveado.

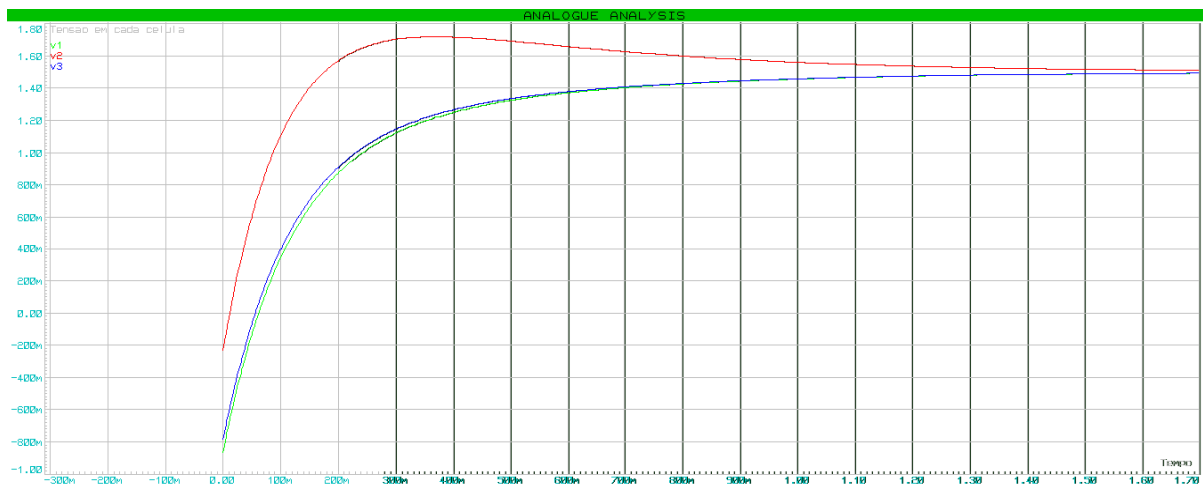


Figura 20:Topologia capacitor chaveado.

Esta topologia utiliza capacitores como elemento que direciona o excesso de energia de uma célula para outra, culminando no fato de que não há consumo de parte alguma da energia armazenada, sendo uma característica bastante vantajosa das topologias passivas. As linhas mostram que no regime permanente a tensão ao longo das células é a mesma.

4.4-Capacitor único chaveado.

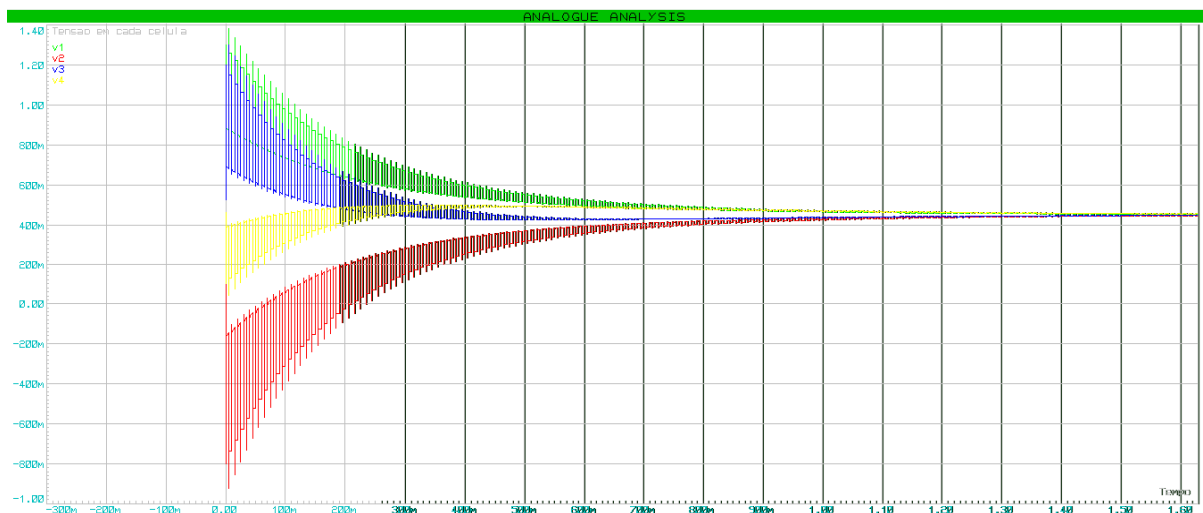


Figura 21:Simulação topologia capacitor único chaveado.

Esta topologia, também passiva, também utiliza capacitores como elemento que direciona a energia de uma célula para outra, porém agora o método é chaveado. As curvas indicam que em regime estacionário a tensão ao longo das células tende a um mesmo valor.

4.5-Capacitor duplo chaveado

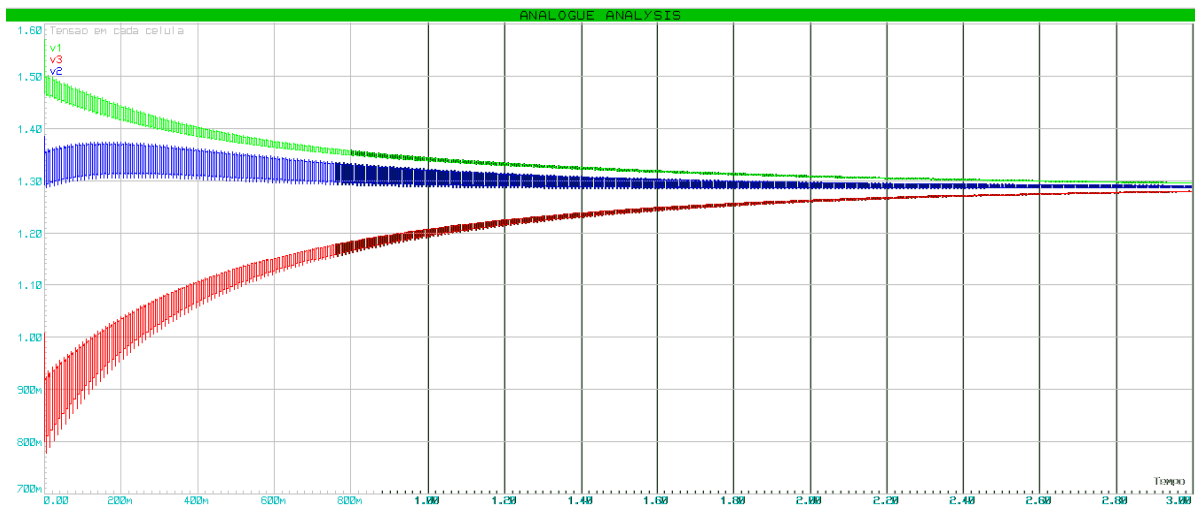


Figura 22: Simulação topologia capacitor duplo chaveado.

Esta topologia também utiliza capacitores como elemento que transfere energia entre as células. As curvas mostram que a tensão ao fim do processo é a mesma em cada célula. O fato desta equalização ser passiva é uma vantagem, porém o grande número de capacitores utilizados é uma das limitações, afinal são dois por célula.

4.6-Modulação por baterias.

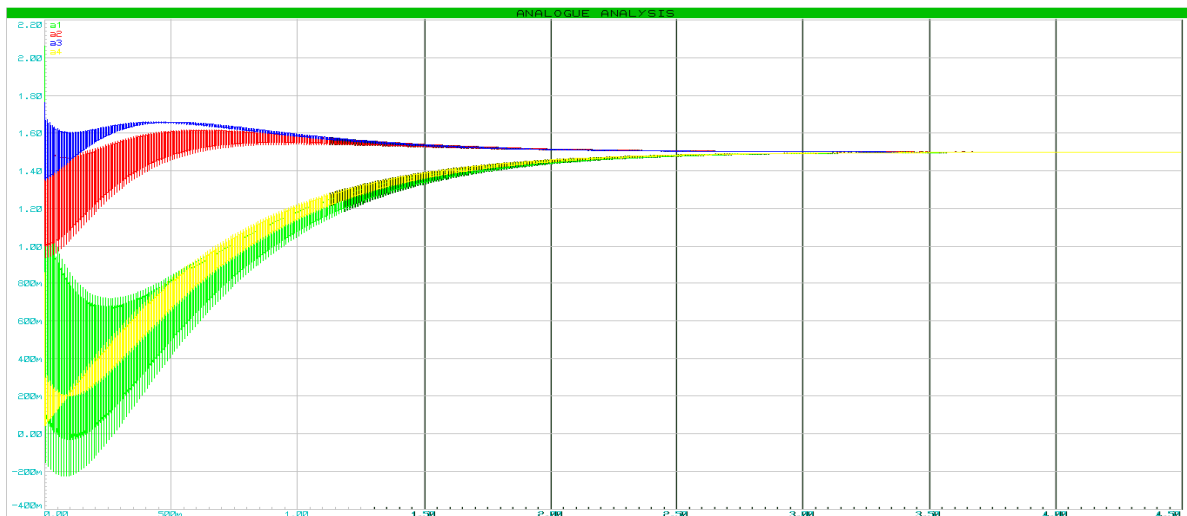


Figura 23: Topologia modulação por baterias.

Esta topologia utiliza baterias como elemento que transfere a energia de uma célula para outra, sendo uma topologia passiva de equalização. Os módulos formados pelas baterias são sub-divididos em módulos internos que auxiliam na equalização. A quantidade de elementos utilizados para a construção do equipamento é um dos fatores negativos desta topologia.

5.0-Construção e análise do equalizador de tensão proposto no presente projeto.

A topologia escolhida para equalizar o banco de ultra-caps utilizado na presente pesquisa consiste em um modelo chaveado que permite a passagem de cargas das células mais carregadas para as menos conforme é verificada uma diferença de potencial entre elas. O componente utilizado para realizar a verificação desta diferença de potencial entre as células é um amplificador operacional comparador de baixa tensão, adequado aos padrões de tensão de funcionamento dos ultra-caps, que é por volta de 2.7 volts. As **Figuras 20 e 21** expressam as topologias a serem utilizadas, cuja característica determinante para diferenciá-las é a corrente de equalização permitida que pode assumir valores de 10mA e 300mA. Ambas os circuitos encontram-se nas figuras abaixo, juntamente com a topologia proposta.

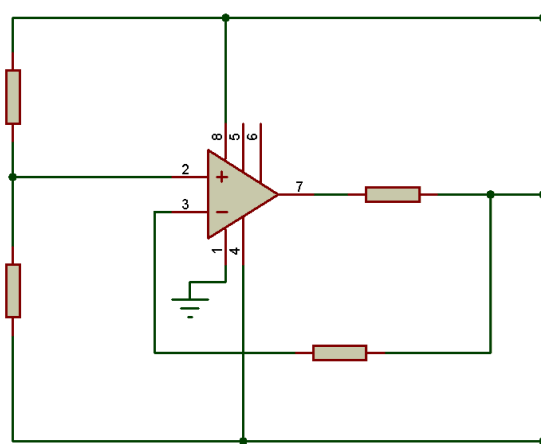


Figura 24:Equalizador de tensão de 10mA.

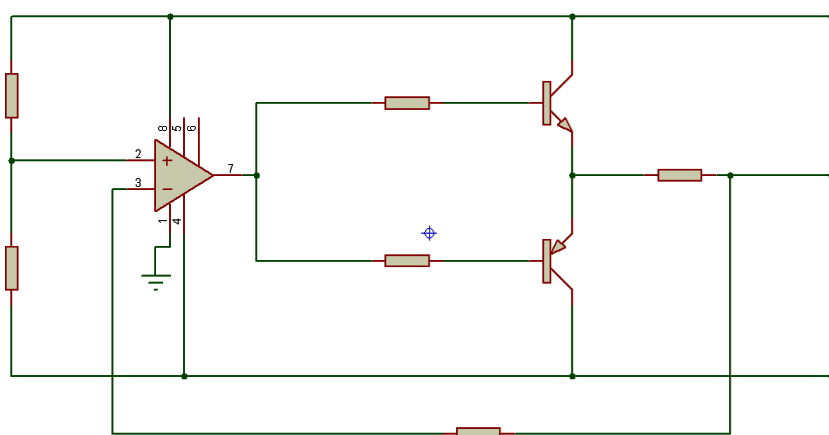


Figura 25:Equalizador de tensão de 300mA.

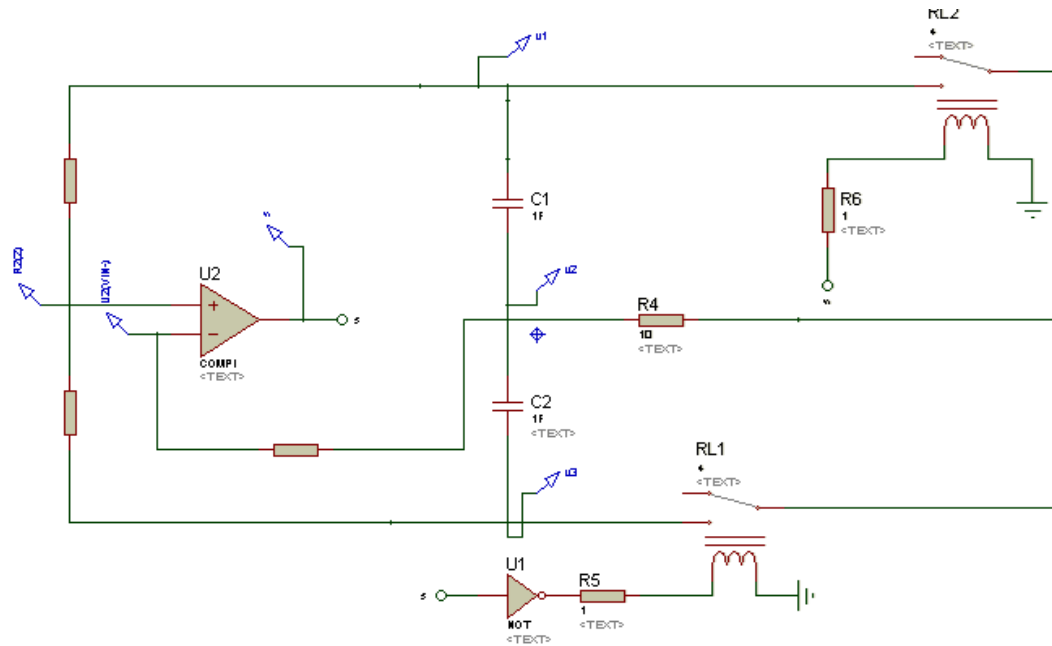


Figura 26: Topologia de simulação do equalizador proposto neste projeto.

A simulação das topologias apresentadas acima encontra-se abaixo e apresenta-se em conformidade com o comportamento esperado. A diferença de potencial em cada célula tende a um valor e igual em ambas, sendo exatamente esta a função do circuito equalizador. A figura 22 expressa somente o comportamento da topologia do equalizador, que esta presente em ambos os equalizadores. As figura 23 e 24 apresentam a simulação do circuito de cada topologia, verificando razoável proximidade.

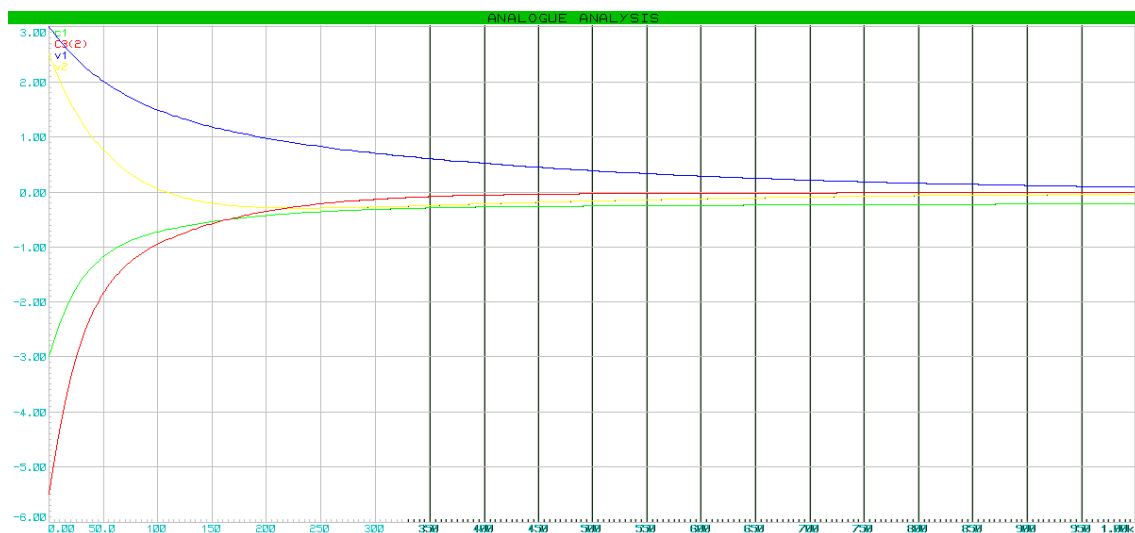


Figura 27: Simulação da topologia e ambos os equalizadores de tensão: 300mA e 10mA



Figura 28: Simulação da topologia de equalização apresentada na figura 26.

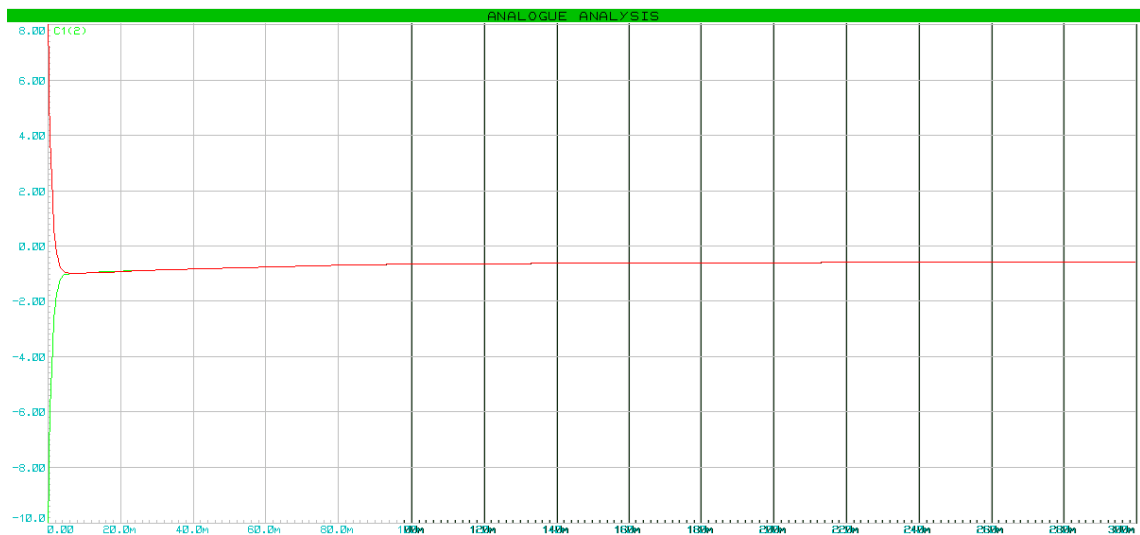


Figura 29: Simulação de equalização para o circuito de 10mA.

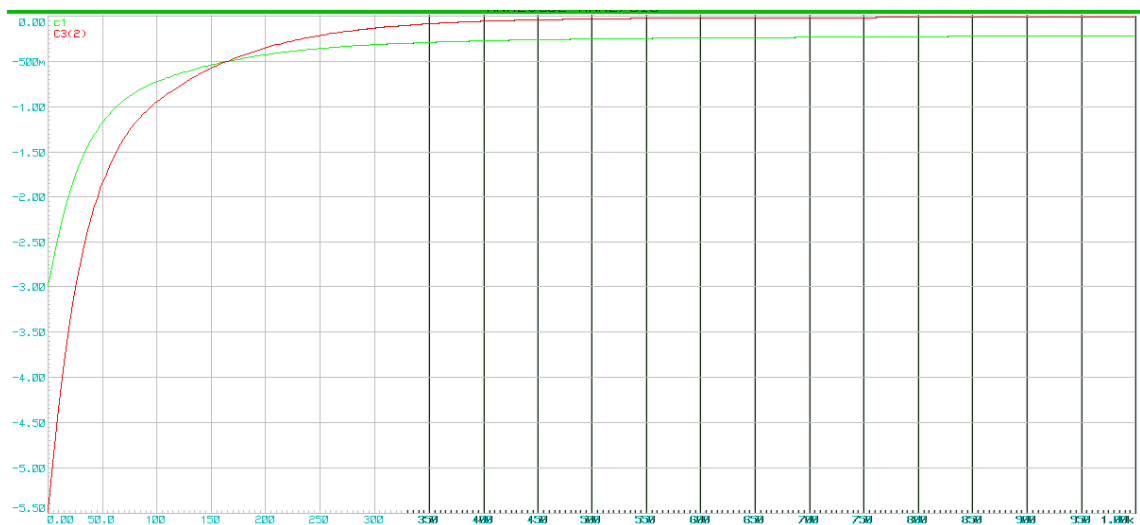


Figura 30: Simulação do circuito equalizador de 300mA.

5.1-Construção do componente.

A estrutura equalizadora se encaixa nas células ultra-capacitivas, devido a isto suas dimensões dependem da distância entre os capacitores e, como consequência, da forma como serão ligados os ultra-caps para formar o banco capacitivo. Por esta razão ainda não foi decidido quais as dimensões do componente, porém tais informações podem diferir bruscamente do apresentado parcialmente neste relatório. A confecção do projeto foi feita por meio do software Proteus e os componentes utilizados foram o amplificador operacional lm 258, resistores comuns de 0.6 Watts e os transistores são os tip 122 e tip127, que diferem somente quanto as camadas NPN e PNP.As figuras 20 e 21 acima apresentam os circuitos de equalização para cada corrente referida.

Tendo em mão o circuito simulado e funcionando de um modo próximo ao esperado, afinal as simulações expressam valores distintos, porém buscam um ponto de equalização comum, cabe agora confeccionar o dispositivo.Como foi dito, as dimensões e formato do mesmo dependem de como será montada a caixa contendo os ultra-capacitores. Abaixo encontram-se imagens expressando possíveis modos de se organizar ultra-capacitores, implicando na modificação do formato do equalizador de tensão.Uma das imagens mostra um sistema de equalização montado sobre uma placa aonde encaixam-se os ultra-caps, sendo uma possibilidade de construção dos dispositivo.

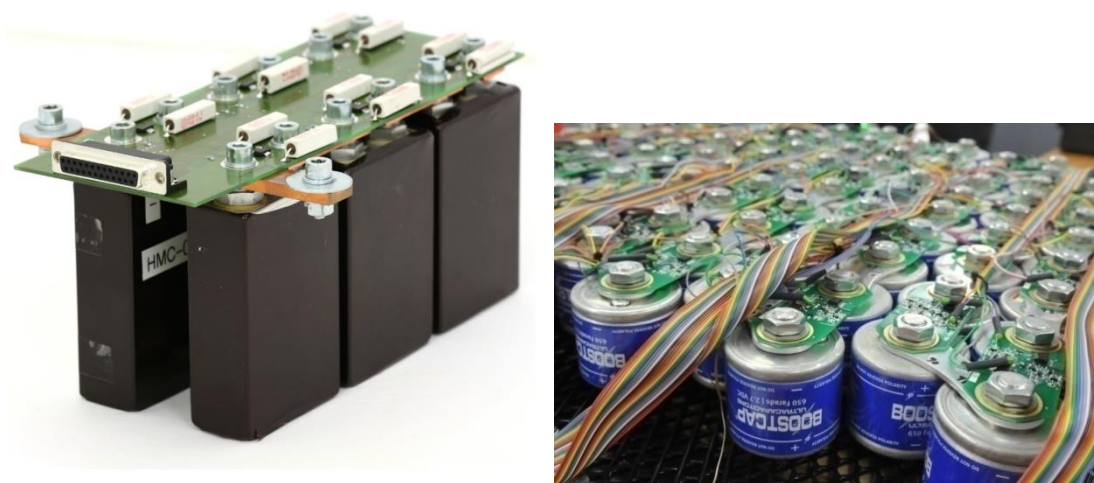


Figura 31:Placa ultra-capacitiva e equalizador que se encaixa nas células.



Figura 32: Banco ultra-capacitivo

O presente projeto propõe-se a projetar um dispositivo que se encaixa nas células e não uma placa que faz a equalização. Cabe lembrar da existência de equalizadores de tensão micro-processados, sendo estes formados em placas de circuito impresso que não se encaixam nos ultra-caps. Abaixo encontram-se os projetos a nível de PCB feito no software proteus. As trilhas são espessura T10 sendo as demais características deixadas a nível default.

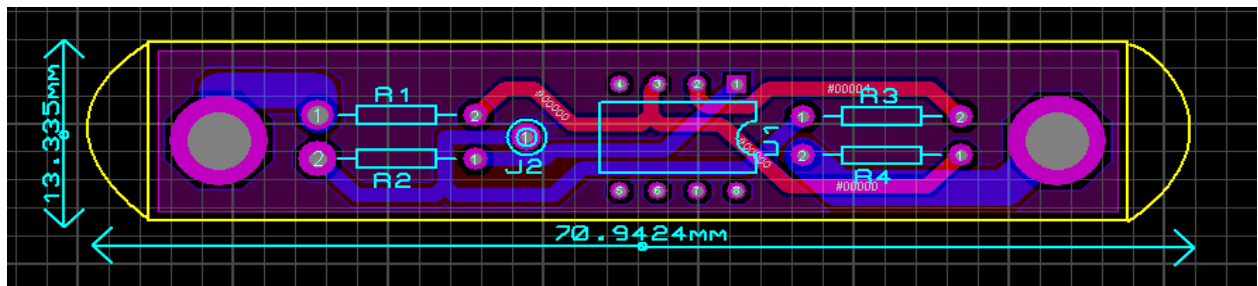


Figura 33: PCB componente 10mA.

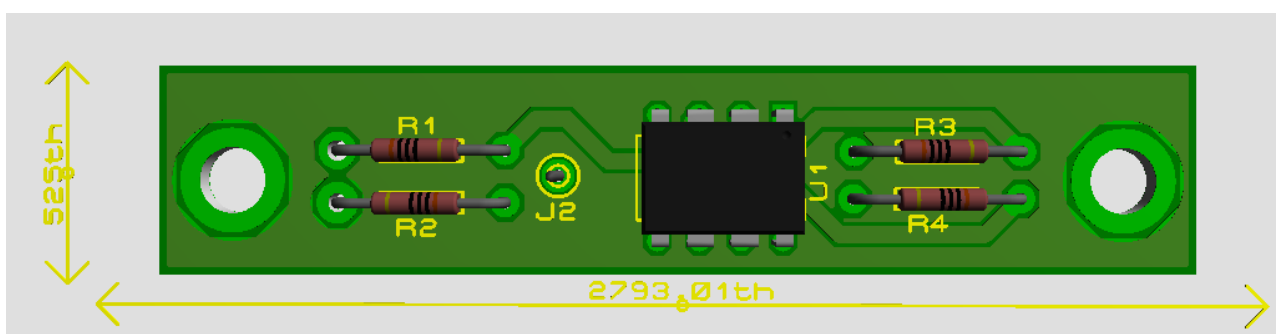


Figura 34: Placa rela do PCB acima

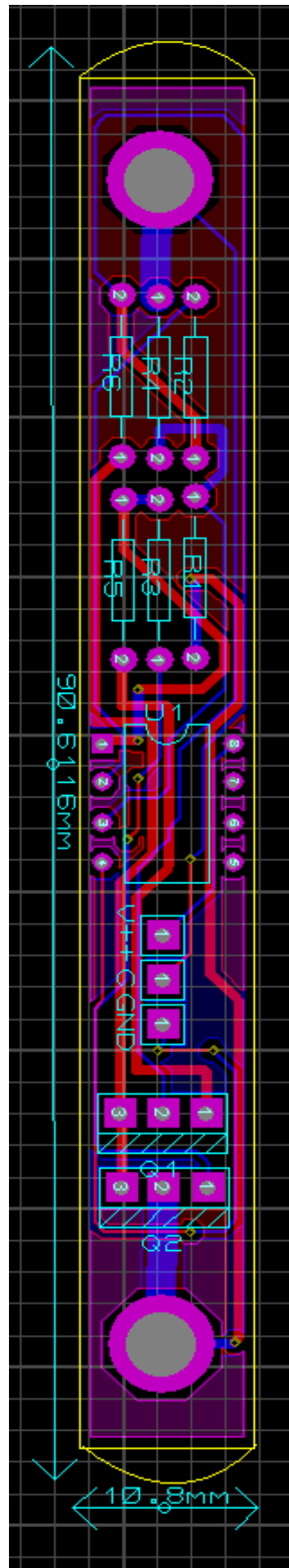


Figura 35:Projeto PCB componente de 300mA

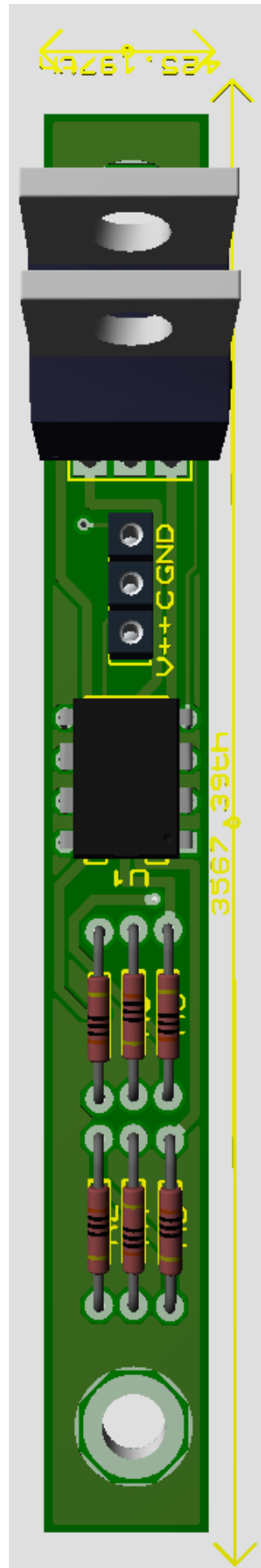


Figura 36:Projeto real do componente equalizador de 300mA

Abaixo encontra-se uma possível construção do dispositivo utilizando a tecnologia smt em termos de componentes.

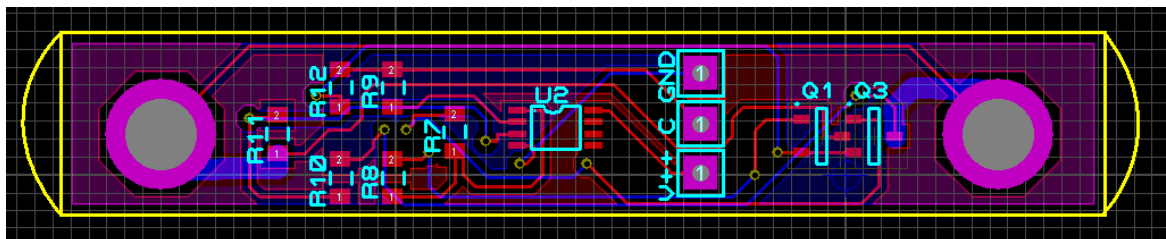


Figura 35:Equalizador projetado com componente SMT.

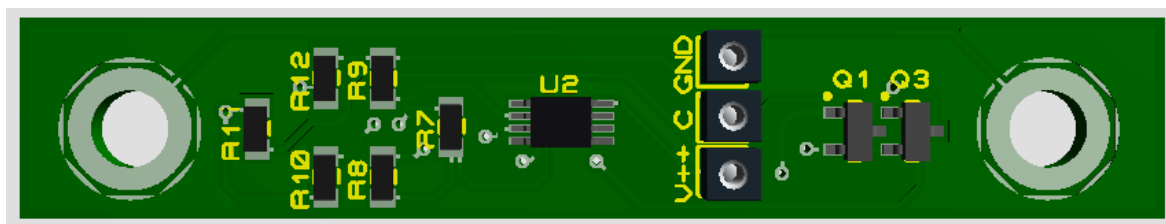


Figura 36:Imagem real do componente projetado acima.

7.0-Bibliografia.

- [1] Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche, Joeri Van Mierlo, A Review of Passive and Active Battery Balancing_ based on MATLAB-Simulink, International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Vol. xx, n. x.,pp
- [2] F. M. Vichi, M. T. C. Mansor, "Energia, Meio Ambiente E Economia: O Brasil No Contexto Mundial," Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, pp. 757-767, Abril 2009.
- [3] R. F. Bastos, "Sistemas de Gerenciamento para Carga e Descarga de Baterias (chumbo ácido) e para Busca de Máxima Potencia Gerada em Painéis Fotovoltaicos e Empregados em Geração Distribuída". Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, BR, 2012.
- [4] O.C. Onara, M. Uzunoglua, M.S. Alam. "Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system," Journal of Power Sources, vol. 185, no.2, pp. 1273–1283, December 2008.
- [2] Barsukov Yevgen, Qian Jinrong, Battery Power Management for Portable Devices, May 1, 2013
- [6] A. Schneuwly, M. Bärtschi*, V. Hermann, G. Sartorelli, R. Gallay, R. Koetz, BOOSTCAPÒ Double-Layer Capacitors for Peak Power Automotive Applications, BCAP/presenta/AABC-02/Paper.
- [7] Jae Hoon Cho, Won-Pyo Hong, "Power control and modeling of a solar-ultra capacitor hybrid energy system for stand-alone applications, International Conference on Control, Automation and Systems 2010 Oct. 27-30, 2010 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea ,pp. 811-814..
- [8] N. H. Kutkut, and D. M. Divan, Dynamic Equalization Techniques for Series Battery Stacks, IEEE Telecommunications Energy Conference, INTELEC '96, pp. 514-521, 1996.
- [9] M. Uzunoglu, O.C. Onar, M.S. Alam, "Modeling, Control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications," Renewable Energy, Vol 34, No. 3, pp. 509-520, 2009.
- [10] Cell Balancing Design Guidelines, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00231a.pdf>
- [12] Achieving cell balancing for lithium-ion batteries <http://www.aeroflex.com/ams/pagesproduct/articles/BEUElectronicProductsArticle.pdf>
- [13] Sistemas de armazenamento de ultracapacitores (Pos doutorado italiano)
- [14] E. Spila, S. Panero, B. Scrosati. Condensatore elettrochimici ad alta capacità, C&I, 1995.
- [15] M. F. Rose, S. A. Merryman, Electrochemical capacitor technology for actuator applications, IEEE, 1996, pag. 245-250.
- [16] L. Zubieta, R. Bonert, Characterization of double layer capacitors for power electronic applications, IEEE Transaction on industry application, vol. 36, no. 1, January/February 2000, pag. 199-204.

[17] S. Gervasini. Caratterizzazione di unsupercondensatore per applicazioni di potenza, thesis ofDipartimento di Elettrotecnicadel Politecnico di Milano, 2003, pag. 57-76.

[18] R.N. Nelms, D.R. Cahela, R.L. Newsom, B.J. Tatarchuk. A comparison of two equivalent circuits for double layer capacitors, IEEE, 1999, pag.692-698.

[19]R. Faranda, M. Gallina, D.T. Son,A new simplified model of Double-Layer Capacitors,Dipartimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano, 20133, Milan, (Italy).pp.706-710