



Simulação e Construção de um Equalizador de tensão Aplicado a Células Ultra-Capacitivas

Aluno : Fabiano Aparecido Marino

NºUsp : 7143980

Orientador : Prof. Dr. Ricardo Quadros

26 de Agosto de 2016



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. O principal objetivo deste projeto é a elaboração de um sistema equalizador de tensão para ultra-capacitores que serão utilizados em sistemas de geração distribuída de energia.

keywords— Eletrônica de pontência, Ultrapacitores, Fontes Alternativas de Energia, Equalizador de Tensão

Resumo

The use of alternative energy sources such as photovoltaic panels, fuel cells or wind generators, require the prior storage energy generated and send to a network to ensure uninterrupted generation energy. In referring to the energy storage capacitor has ultra-crucial when you want to handle fast transients energy. Para so, their use requires that the voltage at its terminals is delicately controlled in this way, it is necessary to construct a system voltage equalizer. The main objective of this project is to develop a voltage equalizer system for ultra-capacitors that are used in distributed power generation systems.

keywords— Power Electronic, Ultracapacitor, Alternative Source of Energy ,Voltage Equalizer

Conteúdo

1 Descrição das Capas	6
1.0.1 <i>Capa 1 : Abertura do Trabalho</i>	6
1.0.2 <i>Capa 2 : Conjunto de Geradores Eólicos</i>	6
1.0.3 <i>Capa 3 : Simulação da Colisão Hélice com Fluido</i>	6
1.0.4 <i>Capa 4 : Roteamento de Placas em Várias Camadas</i>	6
2 Fontes Alternativas de Energia	7
3 Equalizadores de Tensão	11
3.1 Método Passivo	11
3.2 Método Ativo	12
3.3 Fixed Shunting Resistor	12
4 Métodos Passivos	13
4.1 Métodos Pelos Capacitores de Shunting	13
4.2 Capacitor Chaveado	14
4.3 Capacitor Único Chaveado	14
4.4 Capacitor Duplo Chaveado	14
4.5 Modularização Por Baterias	16
5 Ultracapacitores	18
5.1 Modelos Circuitais de Ultracapacitores	19
6 Simulações	22
6.1 Topologia Resistor Shunting Não Chaveado	22
6.2 Topologia Resistor Shunting Chaveado	23
6.3 Capacitor Chaveado	25
6.4 Capacitor Único Chaveado	26
6.5 Capacitor Duplo Chaveado	28
6.6 Modulação Por Baterias	29
7 Construção e Análise do Equalizador de Tensão Proposto no Presente Trabalho	33
7.1 Construção do Componente	34
8 Conclusão	37

Lista de Figuras

1	Fonte de Alternativa via Movimento da água no Fundo do Mar [?]	7
2	Fonte Alternativa via Movimento da Água do Mar na superfície [?]	7
3	Estação de Energia Solar [?]	8
4	Quantidade de energia em proporção considerando cada fonte [?]	9
5	Estrutura de geração eólica e solar com armazenamento em baterias e ultracapacitores [?]	9
6	Conjunto de Geradores Eólicos <i>Descrição da Imagem em : Descrições de Capas</i>	10
7	Topologias de Equalização [?]	12
8	Topologia de Equalização Shunting [?]	13

9	Topologias de Equalização Shuntinhg Controlada [?]	13
10	Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]	14
11	Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]	15
12	Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]	15
13	Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]	16
14	Paíneis Solares Concavos <i>Descrição da Imagem em : Descrições de Capas</i>	17
15	Estrutura Double Layer Ultra-Capacitor [?]	18
16	Imagen de um Ultracapacitor [?]	19
17	Modelo Clássico Ultracapcitor [?]	20
18	Modelo Circuital Ultracapacitor Capacitância Variável [?]	20
19	Modelo Circuital Capacitor de três Ramos [?]	20
20	Simulação Fluido Colidindo Com Élice : <i>Descrição da Imagem em : Descrições de Capas</i>	21
21	Circuito Utilizado Para a Simulação <i>Fonte : Autor</i>	22
22	Simulação Equalização pela Topologia de Ressistor Shunting Ativo Não Chaveado <i>Fonte : Autor</i>	23
23	Circuito Utilizado Para a Simulação <i>Fonte : Autor</i>	23
24	Simulação Equalização pela Topologia de Ressistor Shunting Ativo Chaveado <i>Fonte : Autor</i>	24
25	Simulação Equalização pela Topologia de Ressistor Shunting Ativo Não Chaveado <i>Fonte : Autor</i>	25
26	Simulação Equalização pela Topologia de Capacitores Como Elementos Transportadores de Energia <i>Fonte : Autor</i>	26
27	Simulação Equalização pela Topologia de Capacitores Como Elementos Transportadores de Energia <i>Fonte : Autor</i>	27
28	Simulação Equalização pela Topologia de Capacitores Como Elementos Transportadores de Energia <i>Fonte : Autor</i>	27
29	Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores <i>Fonte : Autor</i>	28
30	Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores <i>Fonte : Autor</i>	29
31	Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores <i>Fonte : Autor</i>	30
32	Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores <i>Fonte : Autor</i>	31
33	Abstração do Roteamento de Placas <i>Descrição da Imagem em : Descrições de Capas</i>	32
34	Topologias de 100 e 300mA <i>Fonte : Autor</i>	33
35	Simulação das Topologias de 100 e 300mA <i>Fonte : Autor</i>	34
36	Equalizador de Tensão Próximo ao Proposto no Presente Documento	35
37	Banco Ultracapacitivo com os Equalizadores de Tensão [?]	35
38	Simulação da Versão Modelada do Equalizador de tensão em questão <i>Fonte : Autor</i>	36
39	Projeto PCB Equalizador Proposto <i>Fonte : Autor</i>	36
40	Renderização do Equalizador Proposto <i>Fonte : Autor</i>	37

1 Descrição das Capas

1.0.1 Capa 1 : Abertura do Trabalho

Engenharia essa que busca maximizar os projetos por meio da aplicação tecnológica desenvolvida cuidadosamente. Porém, quem disse que os ponto de apoio final do projeto não se baseiam em repostas, tais como, bom, belo, legal, lindo...

Isto vem trazer a imagem. Ambiente de aspectos naturais e vívidos com a simplicidade de uma casa pequena e aconchegante, utilizando das formas de geração energia presentes neste trabalho. O passivo do campo, com a maturidade da tecnologia aplicada, mais a fundo, a simplicidade embarçada com o avanço tecnológico, permitindo a coexistência do ser humano em compassividade com a natureza.

1.0.2 Capa 2 : Conjunto de Geradores Eólicos

Trata-se de uma subestação de geração de energia eólica, havendo a possibilidade de se verificar um possível local de aplicação da tecnologia, sendo, na presente imagem, um lugar fúgido, longíquo, aonde, em países de avançado desenvolvimento, há a aplicação de tecnologia de ponta visando o suprimento de energia local ou em rede distribuída interligada.

1.0.3 Capa 3 : Simulação da Colisão Hélice com Fluido

O princípio de funcionamento das hélices eólicas geradoras de energia é o fato de que o ar, como fluido que é, uma vez entrando em colisão com a hélice o faz girar, havendo utilização dos movimentos da hélice para geração de energia elétrica. Simulações que visem obter o comportamento do fluido em torno da hélice é de grande importância, pois assim se dá o projeto de novas hélices que melhoram o rendimento do sistema.

1.0.4 Capa 4 : Roteamento de Placas em Várias Camadas

O roteamento de placas eletrônicas se dá de forma a explorar o caminho da trilha tanto na horizontal como na vertical da placa, considerando um olhar sobre o plano da placa. A figura faz uma descompactação de uma placa roteada mostrando que há trilhas nas camadas que a compõem assim como toda a superfície.

2 Fontes Alternativas de Energia

Havendo a necessidade de se realizar trabalho, o homem buscou por meio da engenharia diferentes formas de se obte-lá, 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 e 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 fontes de energia alternativa. Como pontos fortes deste tipo de fonte de energia pode-se citar fácil transporte por meio de sistemas de transmissão, além de fácil armazenamento e bom domínio da tecnologia empregada, considerando o Brasil como aplicante da tecnologia citada.

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.[?]

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 ambientais 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.

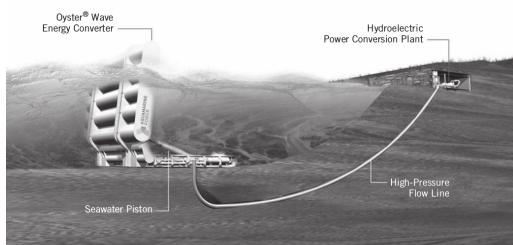


Figura 1: Fonte de Alternativa via Movimento da água no Fundo do Mar [?]



Figura 2: Fonte Alternativa via Movimento da Água do Mar na superfície [?]

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 o aquecimento da água, que uma vez aquecida, quando posta pressão ambiente, sai em alta pressão por um orifício que o direciona para uma turbina girando-a. A partir deste ponto o modo de geração da energia é semelhante ao hidrelétrico.



Figura 3: Estação de Energia Solar [?]

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 (2) 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. 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.

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

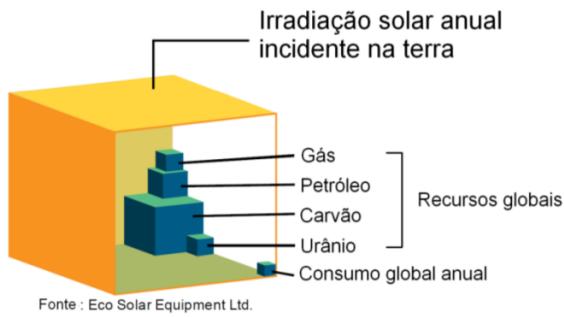


Figura 4: Quantidade de energia em proporção considerando cada fonte [?]

manter o fornecimento constante quando houver ausência ou insuficiência da irradiação ou vento.

Sistemas de armazenamento baseado em baterias é uma solução viável para acumulo de energia de sistemas solares 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.

Na Figura (3) tem-se um esquema da estruturação e integração das fontes alternativas, sendo este o objetivo de montagem do trabalho de doutorado aque 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. Os equalizadores de tensão encontram-se conectados aos terminais dos ultra-capacitores.

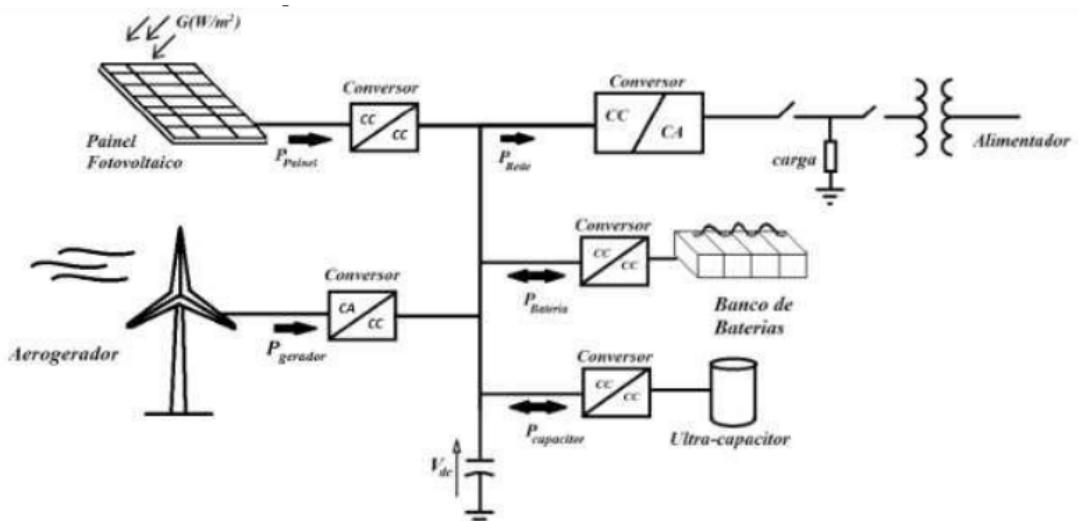


Figura 5: Estrutura de geração eólica e solar com armazenamento em baterias e ultracapacitores [?]

Figura 6: Conjunto de Geradores Eólicos *Descrição da Imagem em : Descrições de Capas*



3 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.

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.

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.

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. 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.

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. 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.

3.1 Método Passivo

Os métodos passivos caracterizam-se por permitirem o fluxo de energia das células mais carregadas para as menores, 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 a 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

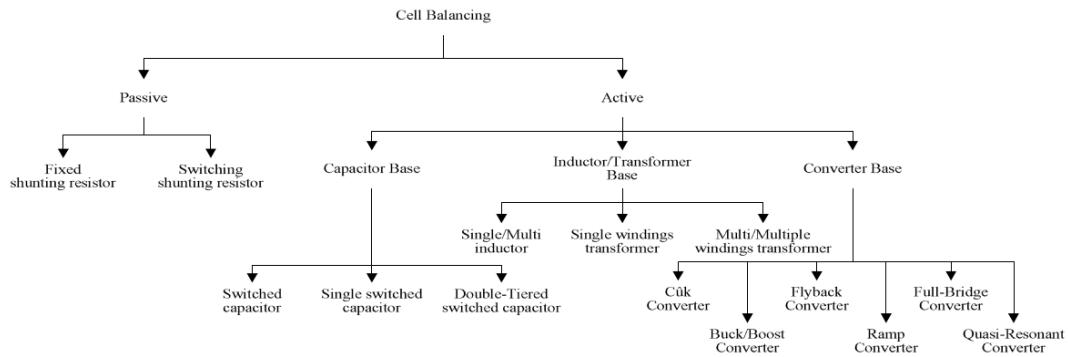


Figura 7: Topologias de Equalização [?]

utilizado pode ser tanto chaveado como fixo, dependendo da topologia utilizada.

3.2 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.

3.3 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 (8) presente abaixo expressa a topologia deste circuito equalizador.

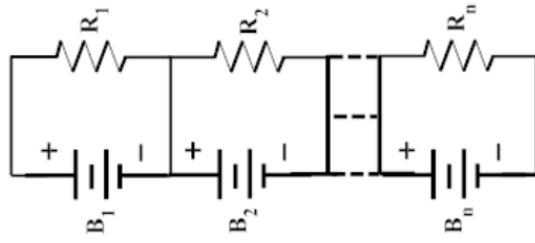


Figura 8: Topologia de Equalização Shunting [?]

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 (9) presente abaixo expressa esta topologia.

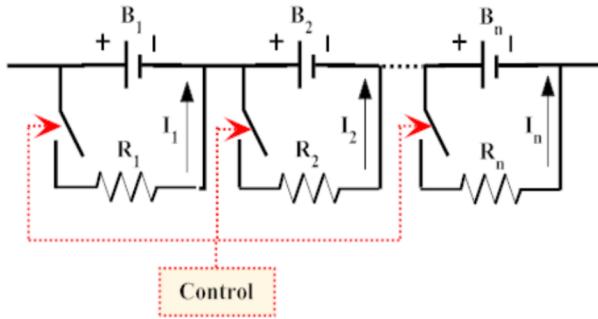


Figura 9: Topologias de Equalização Shuntinhg Contrololada [?]

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.

4 Métodos Passivos

4.1 Métodos Pelos Capacitores de Shunting

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.

4.2 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 (32), presente abaixo, ilustra esta topologia.

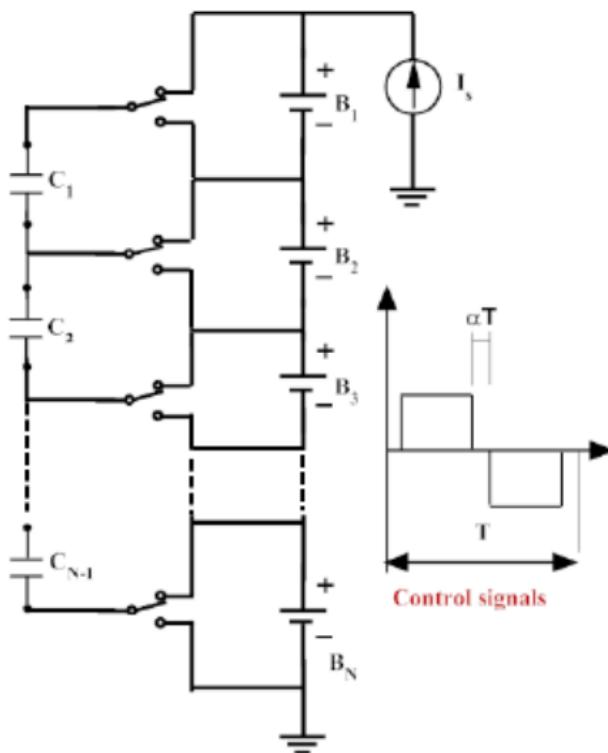


Figura 10: Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]

4.3 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.

4.4 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

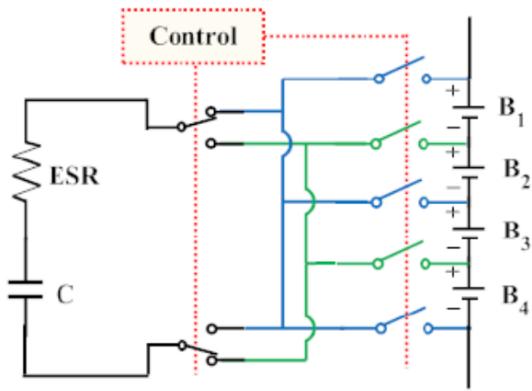


Figura 11: Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]

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.

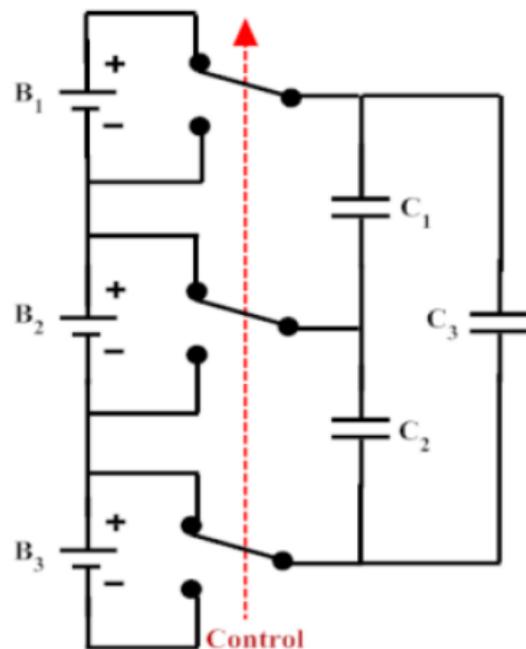


Figura 12: Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]

4.5 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 quantia de componentes utilizados nesta topologia se divide em $n-1$ capacitores de baixa tensão, 1 capacitor de alta tensão $e2n+4$ chaves bidirecionais.

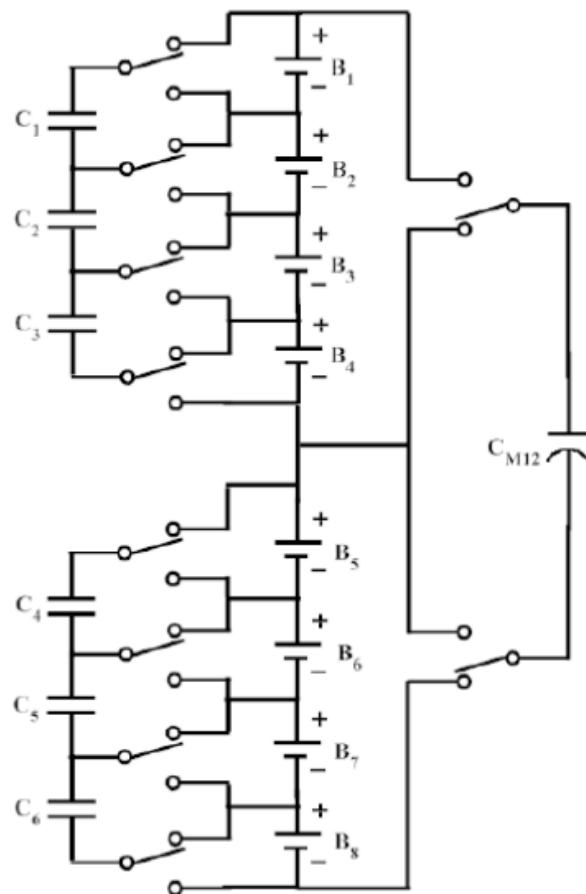


Figura 13: Topologias de Equalização com Capacitor Chaveado [?]



Figura 14: Paineis Solares Concavos *Descrição da Imagem em : Descrições de Capas*

5 Ultracapacitores

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 capacidade do componente basta aumentar a capacidade das placas de armazenarem cargas em sua superfície, ou através modificando a proximidade das placas, que quanto mais próximas produzem um campo de maior intensidade, e, culminantemente, uma maior capacidade. Elevando ao máximo essas duas propriedades pode-se conseguir valores elevados de capacidade, 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 construtivo, pois de um modo mais descriptivo estes diferem bastante. Os capacitores comuns são nada mais que dois condutores separados por um material não condutor, enquanto os ultracapacitores 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].

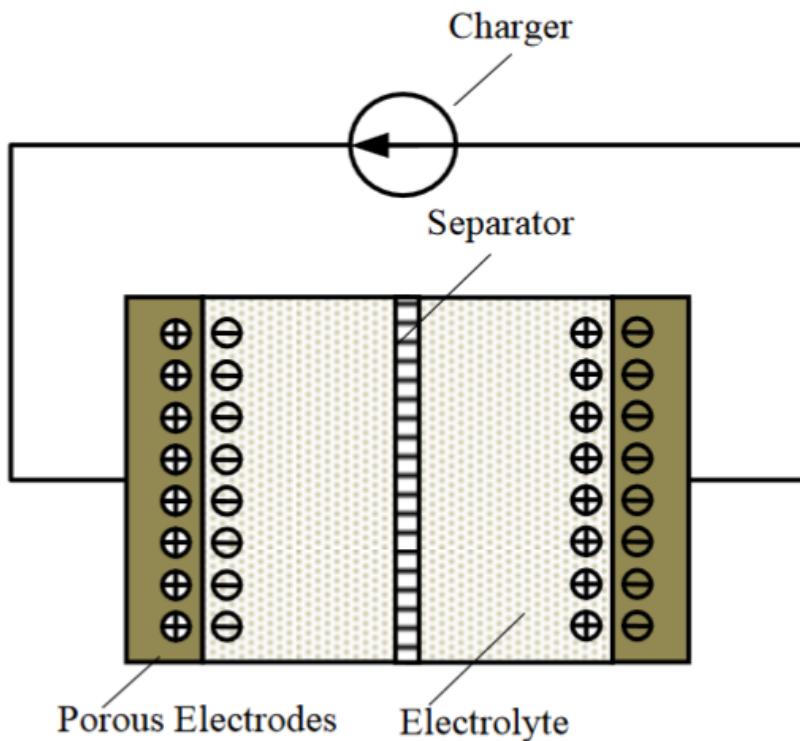


Figura 15: Estrutura Double Layer Ultra-Capacitor [?]

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.

Os ultra-capacitores são classificados em diferentes categorias conforme o material utili-

zado 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. O presente trabalho não se aprofundará nestes aspectos, pois é de interesse versar sobre o comportamento destes com relação a um modelo circuitual que os represente e não quanto as tecnologias de engenharia química referentes a sua construção.

5.1 Modelos Circuitais de Ultracapacitores

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.

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.



Figura 16: Imagem de um Ultracapacitor [?]

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 diferentes 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.

Os valores dos parâmetros presentes nos circuitos simuladores provêm 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.

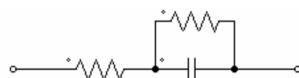


Figura 17: Modelo Clássico Ultracapacitor [?]

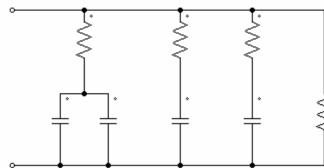


Figura 18: Modelo Circuitual Ultracapacitor Capacitância Variável [?]

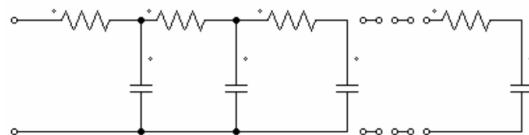


Figura 19: Modelo Circuitual Capacitor de três Ramos [?]

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 Proteus.

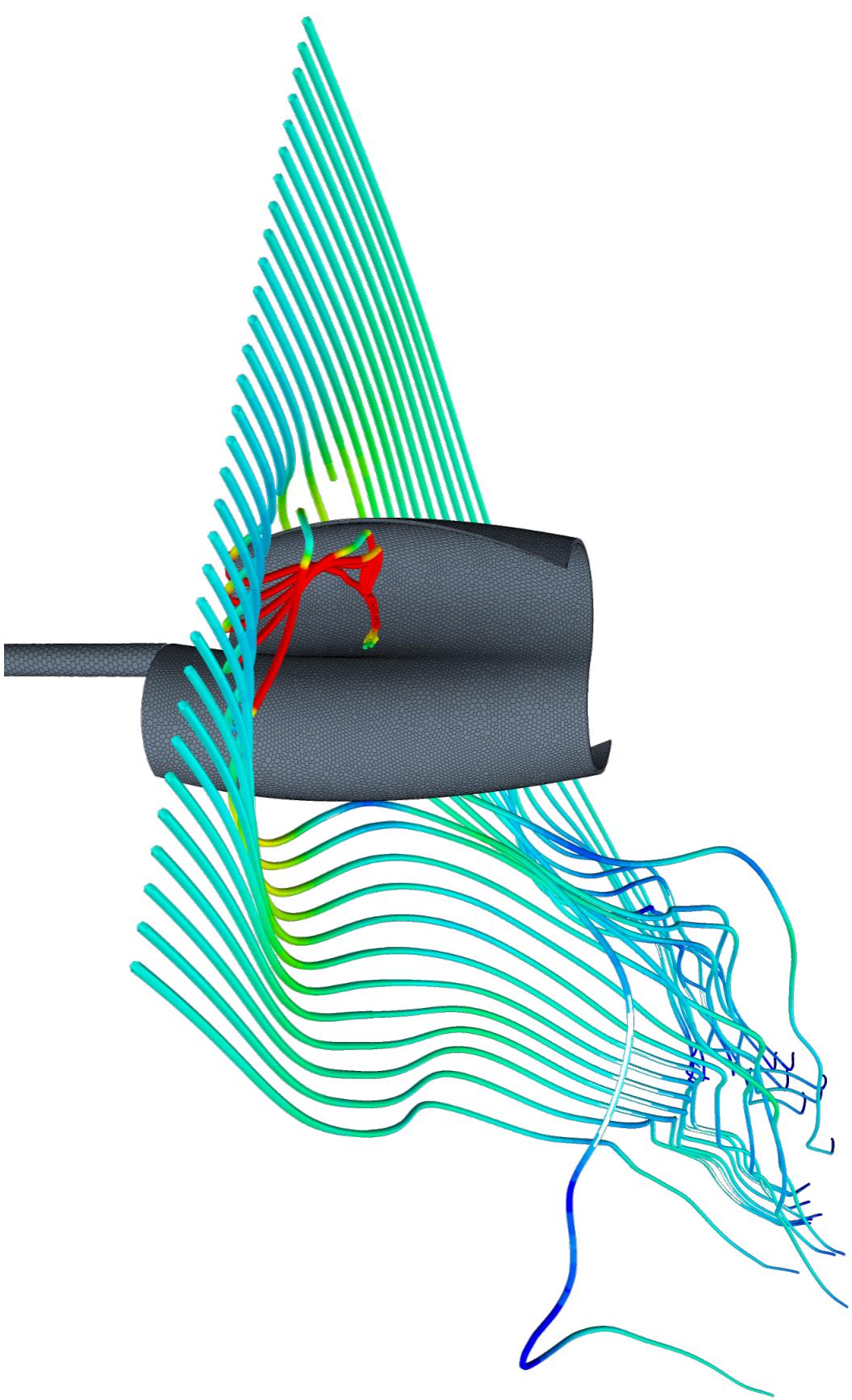


Figura 20: Simulação Fluido Colidindo Com Élice : *Descrição da Imagem em : Descrições de Capas*

6 Simulações

6.1 Topologia Resistor Shunting Não Chaveado

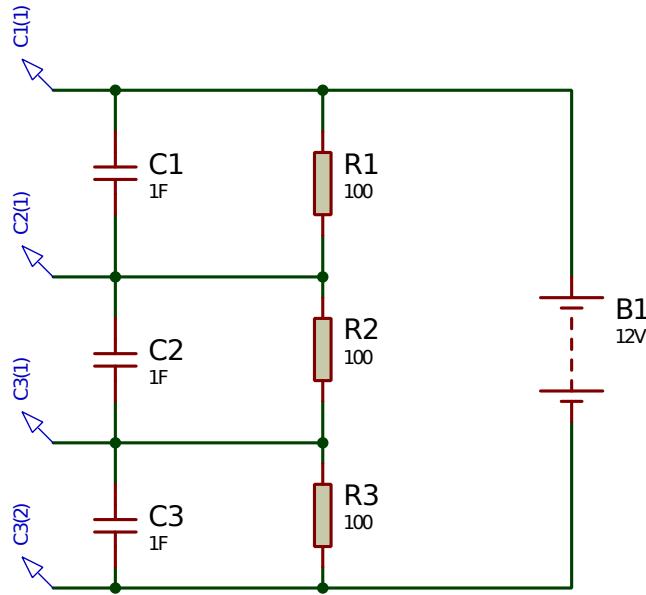


Figura 21: Circuito Utilizado Para a Simulação *Fonte : Autor*

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.

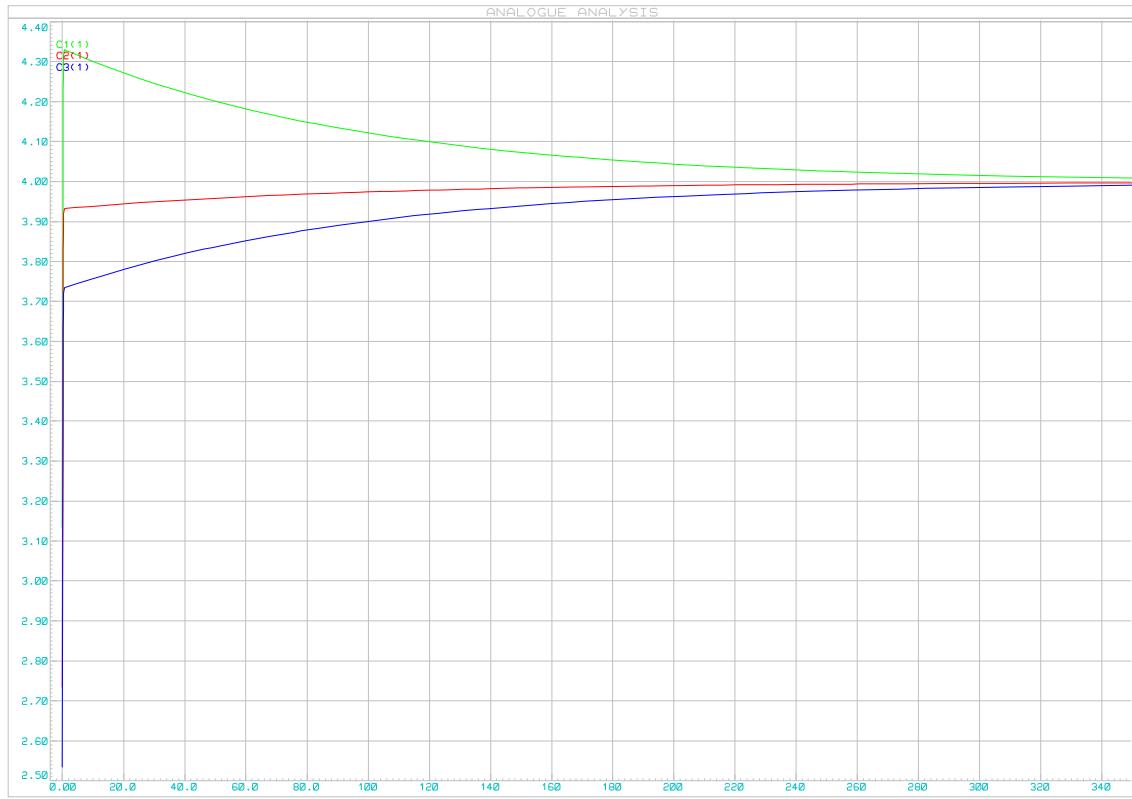


Figura 22: Simulação Equalização pela Topologia de Ressistor Shunting Ativo Não Chaveado
Fonte : Autor

6.2 Topologia Resistor Shunting Chaveado

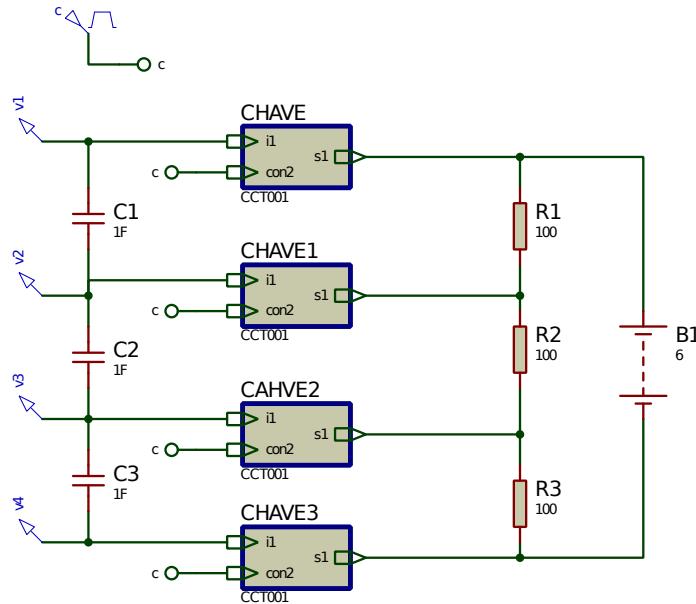


Figura 23: Circuito Utilizado Para a Simulação
Fonte : Autor

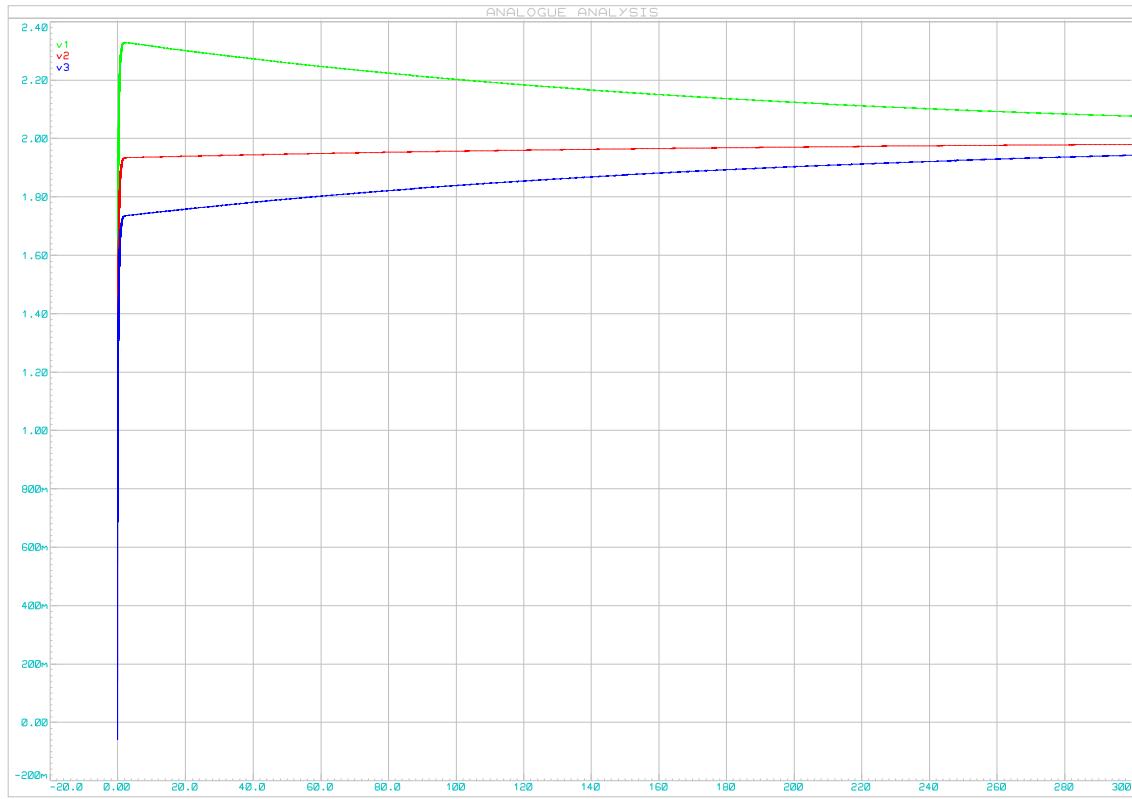


Figura 24: Simulação Equalização pela Topologia de Ressistor Shunting Ativo Chaveado
Fonte : Autor

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.

6.3 Capacitor Chaveado

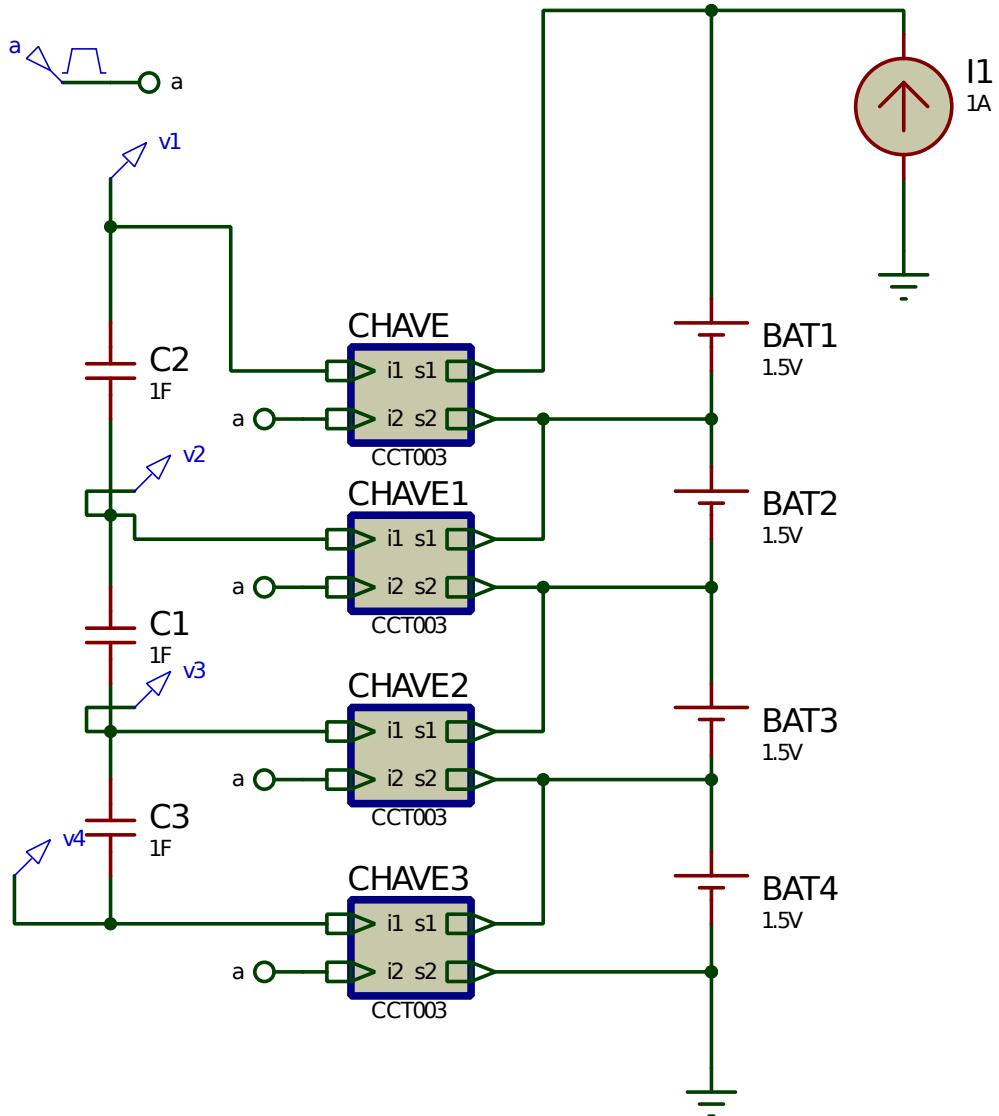


Figura 25: Simulação Equalização pela Topologia de Ressistor Shunting Ativo Não Chaveado
Fonte : Autor

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.

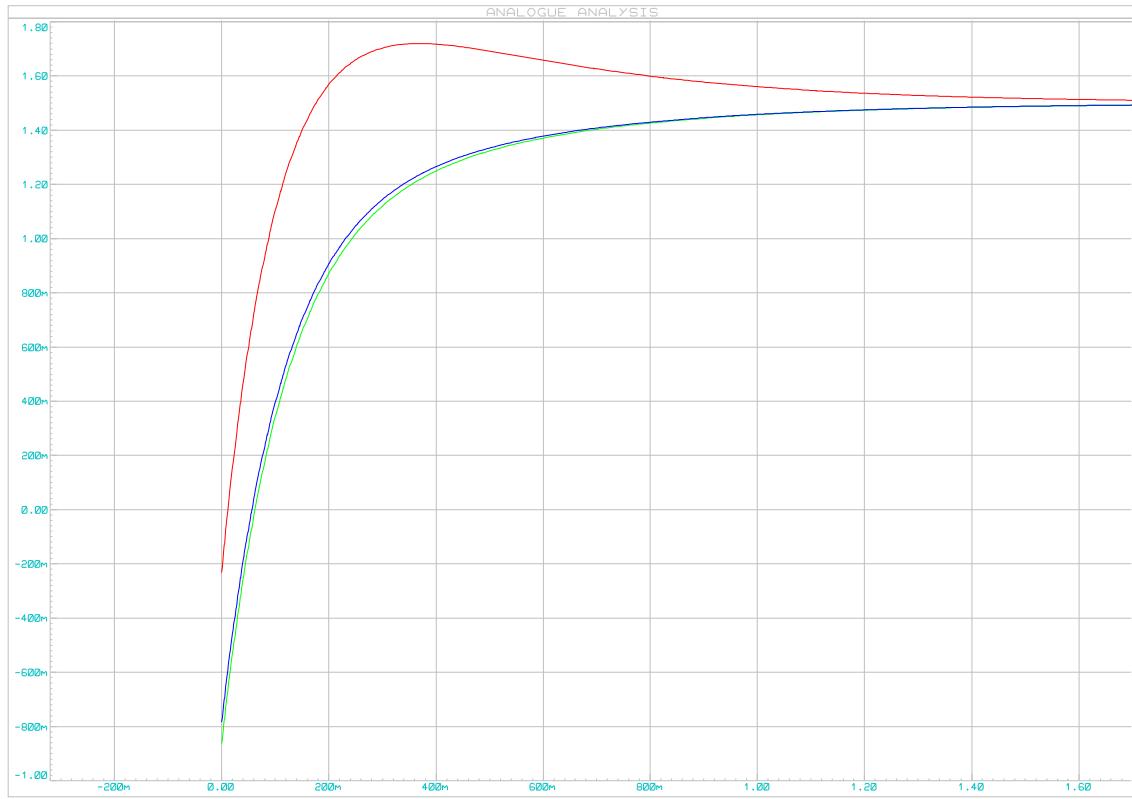


Figura 26: Simulação Equalização pela Topologia de Capacitores Como Elementos Transportadores de Energia *Fonte : Autor*

6.4 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.

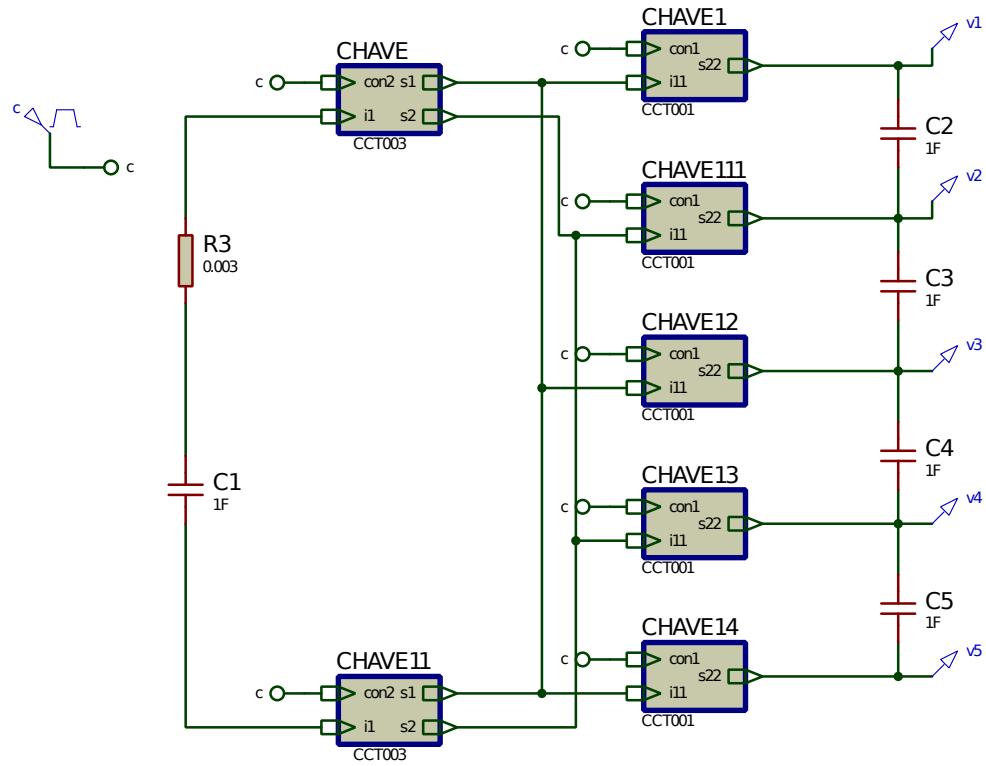


Figura 27: Simulação Equalização pela Topologia de Capacitores Como Elementos Transportadores de Energia *Fonte : Autor*

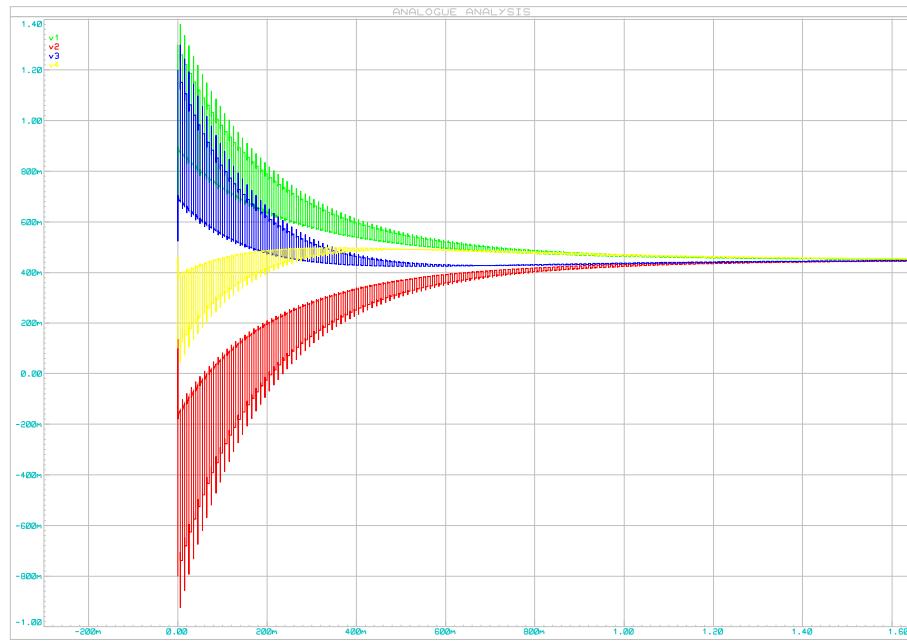


Figura 28: Simulação Equalização pela Topologia de Capacitores Como Elementos Transportadores de Energia *Fonte : Autor*

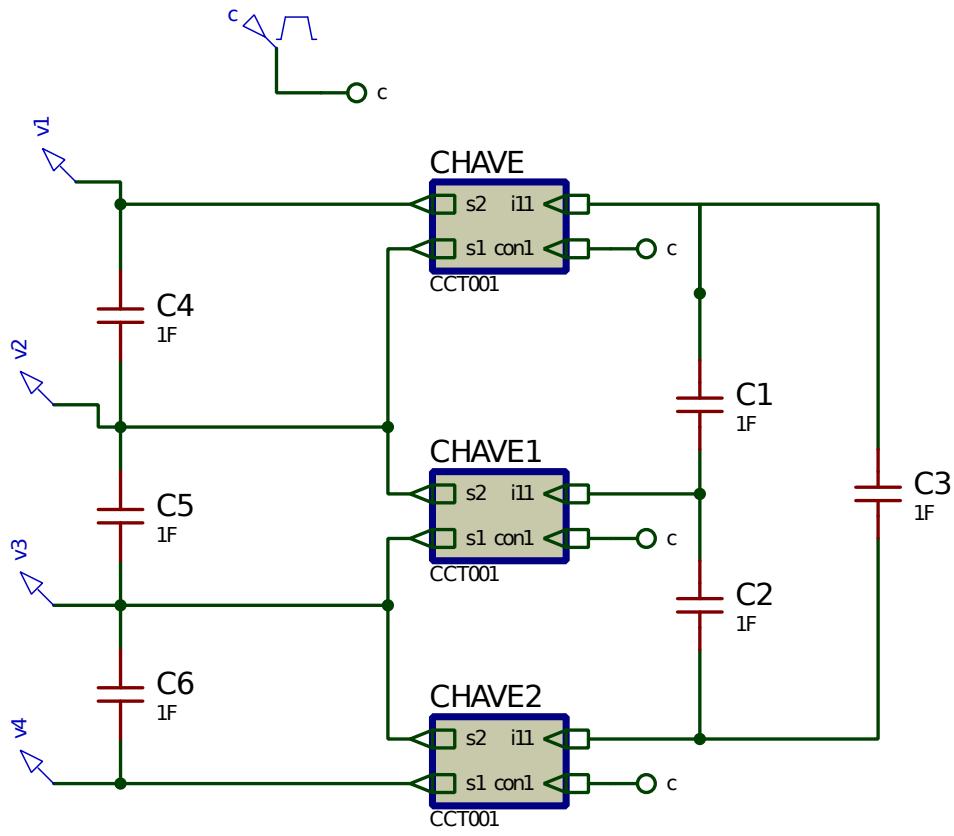


Figura 29: Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores *Fonte : Autor*

6.5 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.

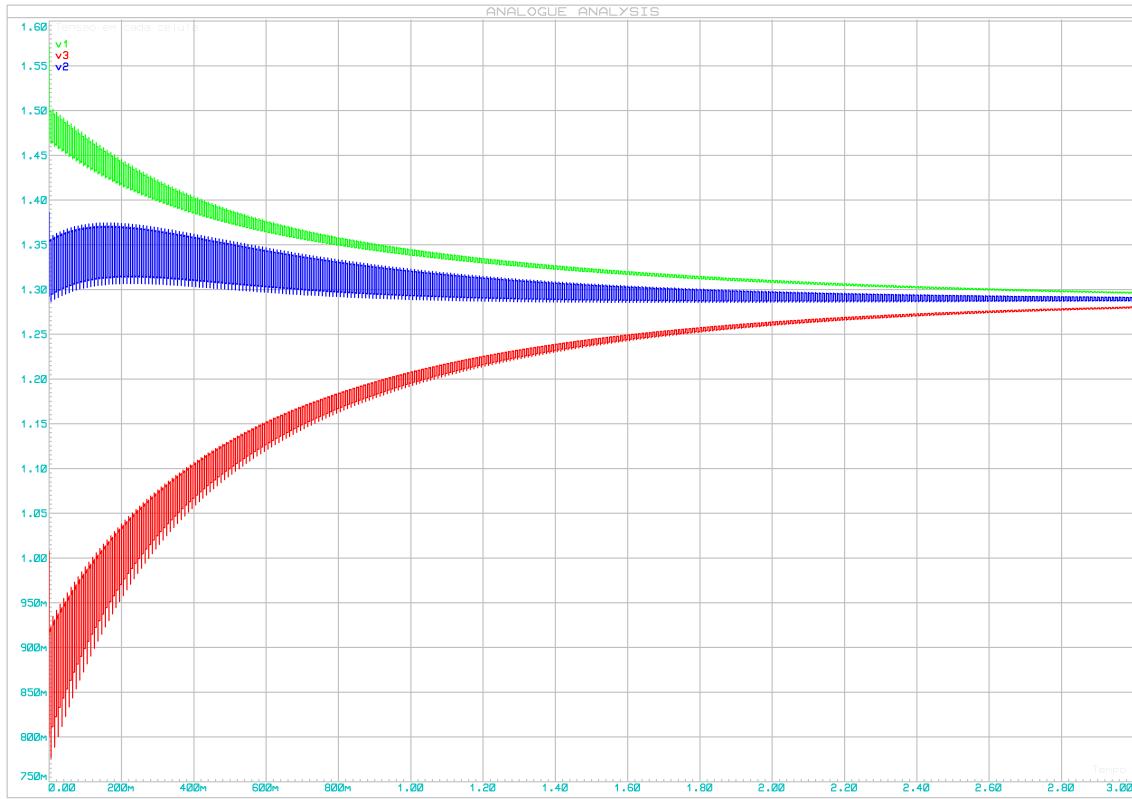


Figura 30: Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores *Fonte : Autor*

6.6 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.

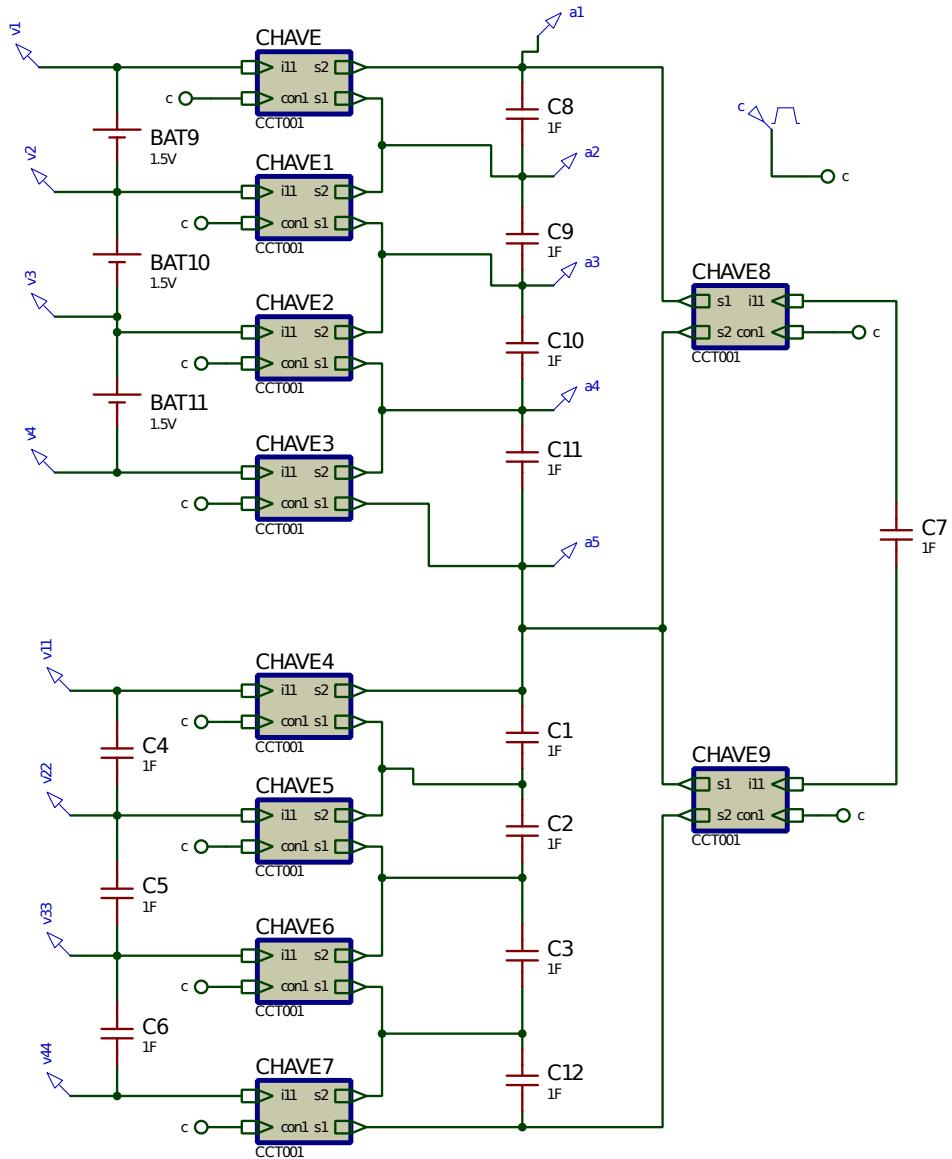


Figura 31: Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores *Fonte : Autor*

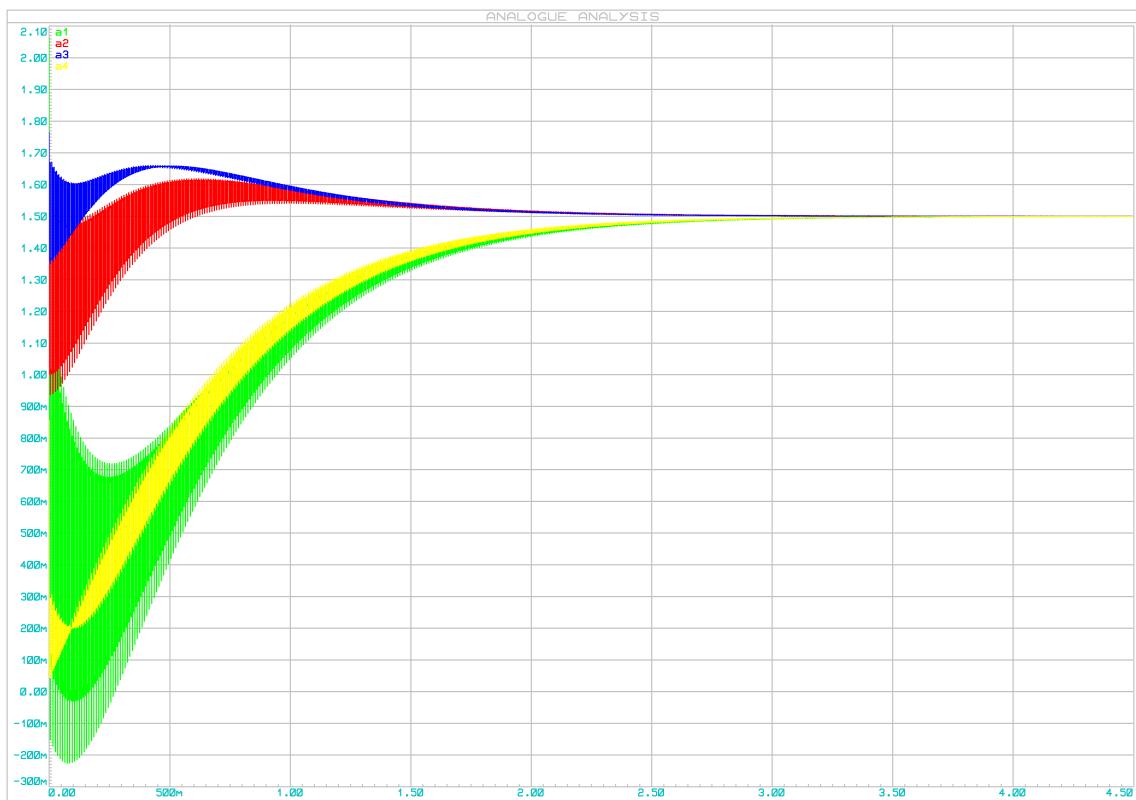


Figura 32: Simulação Equalização pela Topologia de três Capacitores *Fonte : Autor*

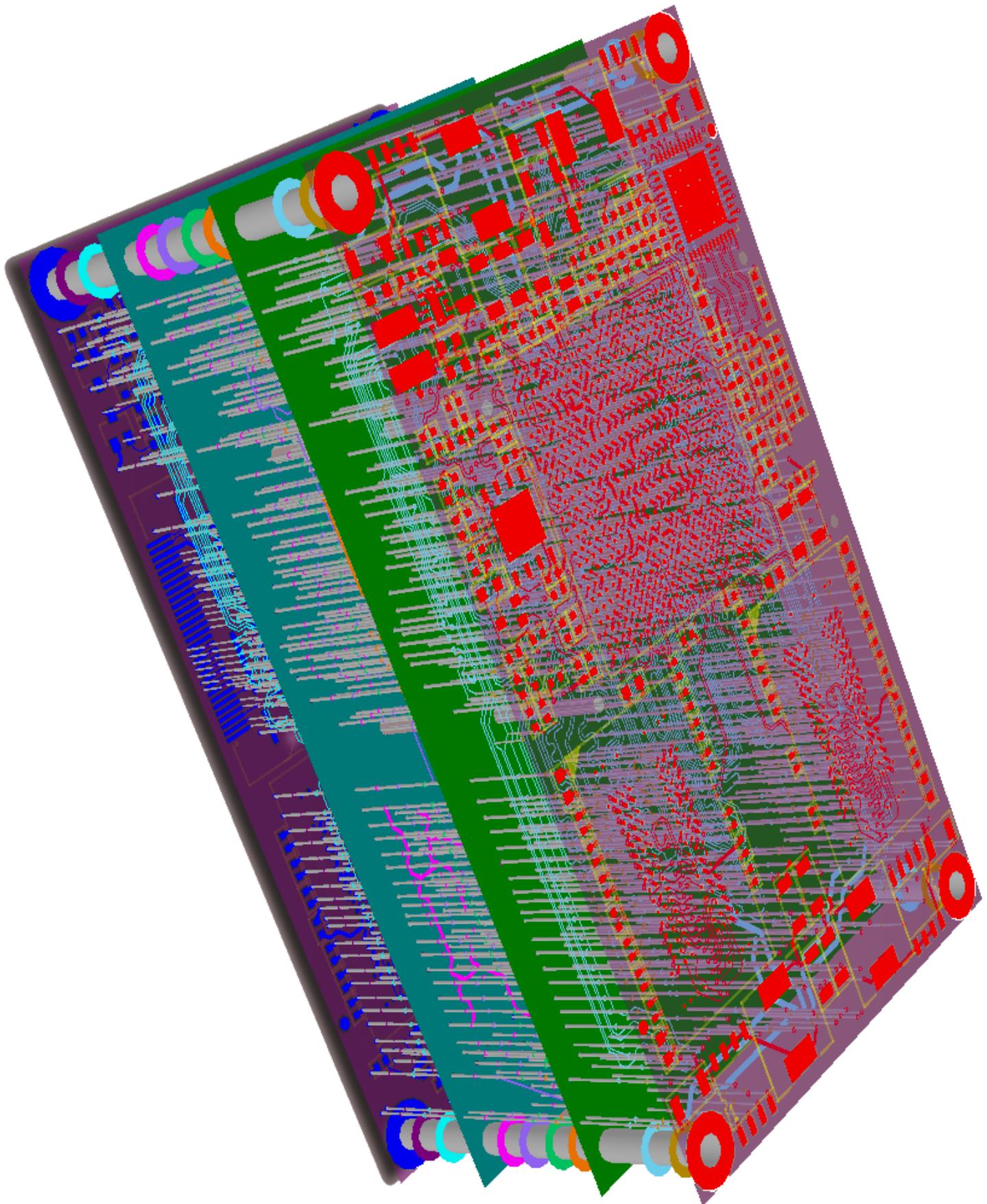


Figura 33: Abstração do Roteamento de Placas *Descrição da Imagem em : Descrições de Capas*

7 Construção e Análise do Equalizador de Tensão Proposto no Presente Trabalho

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 (38) 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.

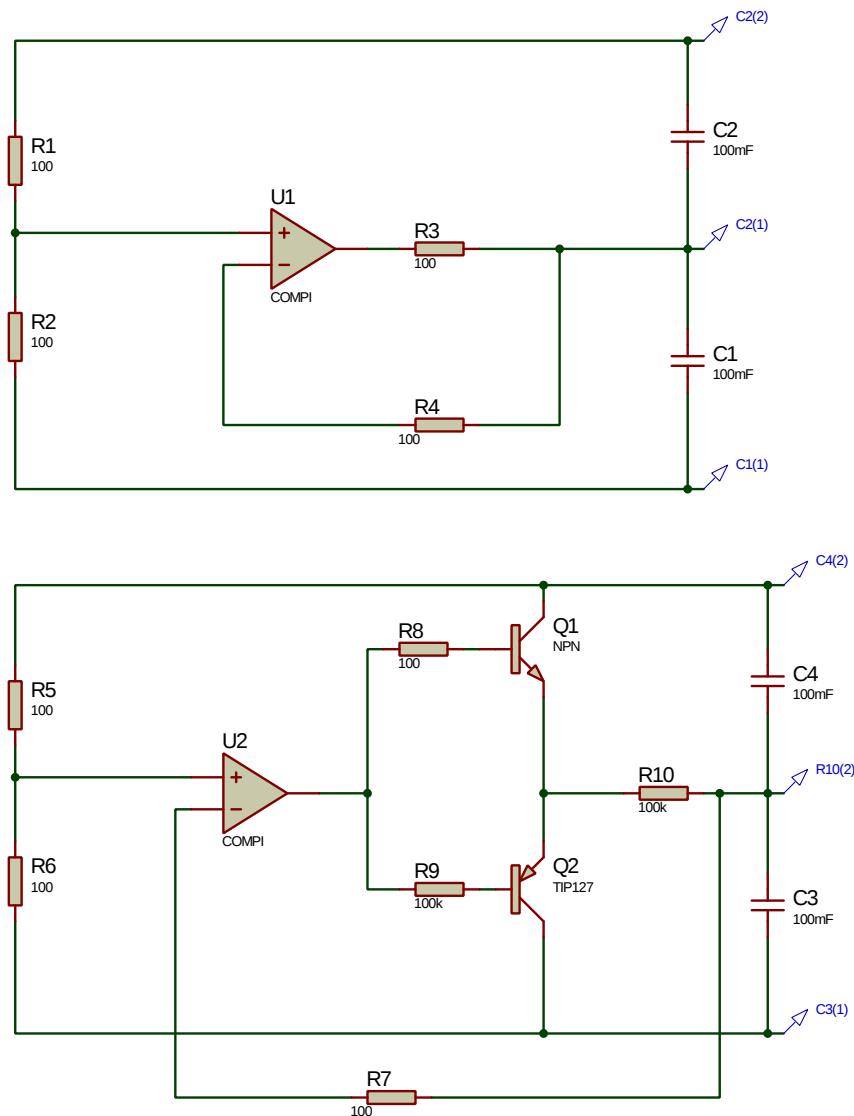


Figura 34: Topologias de 100 e 300mA *Fonte : Autor*

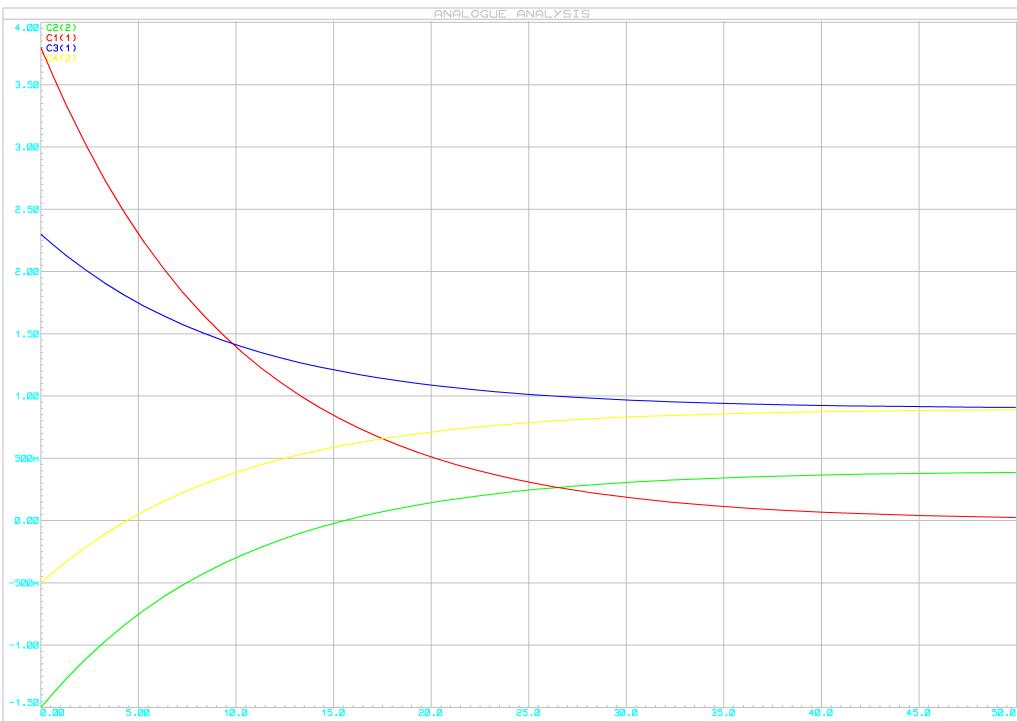


Figura 35: Simulação das Topologias de 100 e 300mA *Fonte : Autor*

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

7.1 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*.

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 dispositivos.

7 CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DO EQUALIZADOR DE TENSÃO PROPOSTO NO
7.1 Construção do Componente PRESENTE TRABALHO



Figura 36: Equalizador de Tensão Próximo ao Proposto no Presente Documento



Figura 37: Banco Ultracapacitivo com os Equalizadores de Tensão [?]

Os componentes escolhidos para a confecção do equalizador de tensão do presente projeto é relativo ao projeto da maxwel buscando utilizar os conceitos mais avançados de PCB, assim como componentes SMD e roteamento dupla face.

O componente real a ser construído é composto dos seguintes componentes : Amplificador operacional TS952IPT, amplificador operacional npn e pnp BC857B e BC847B.

Abaixo encontra-se a simulação do componente enquanto sua aplicação na equalização de tensão.

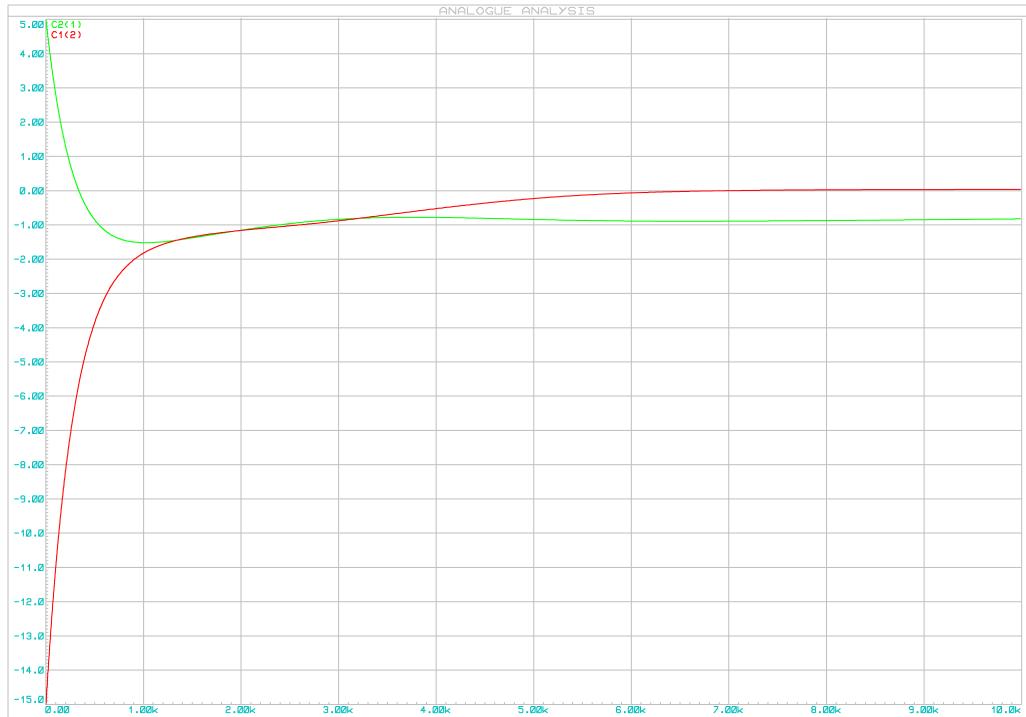


Figura 38: Simulação da Versão Modelada do Equalizador de tensão em questão *Fonte : Autor*

O projeto PCB do componente além de sua renderização encontram-se abaixo nas figuras (39) e (40).

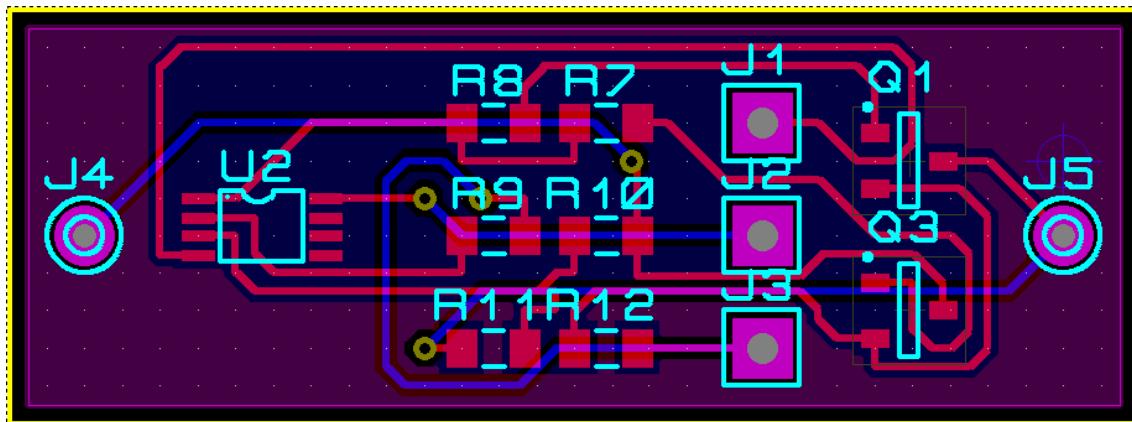


Figura 39: Projeto PCB Equalizador Proposto *Fonte : Autor*

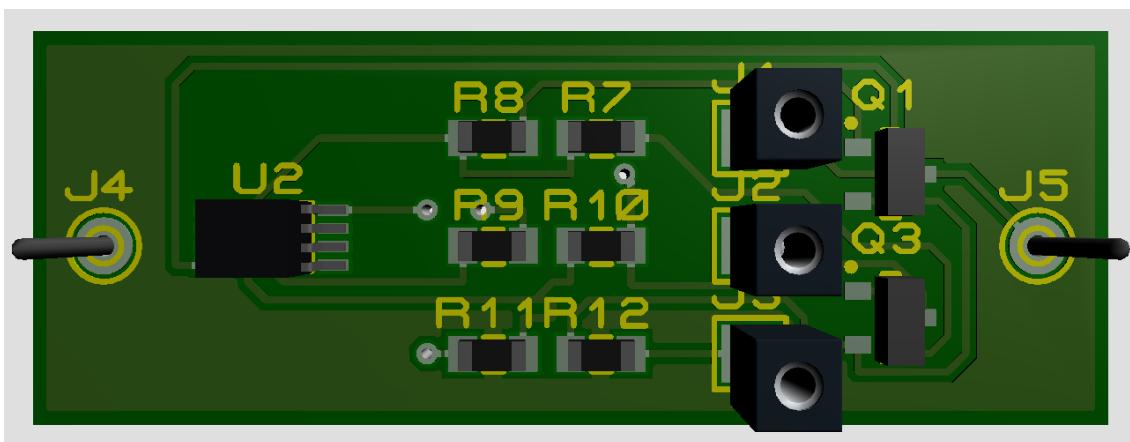


Figura 40: Renderização do Equalizador Proposto *Fonte : Autor*

8 Conclusão

Havendo o crescimento das nações é inerente a este que a suprimissão de energia também seja concebida, afinal não vê-se futuro sem os atuais usos da elétrica. Isto implica no profundo desenvolvimento da área tratada neste trabalho, afinal o mesmo lida com as diferentes formas de se armazenar energia em um banco ultracapacitivo.

Cabe destacar outros fatos, como o conhecimento de um ótimo laboratório e uma área em pleno crescimento. Contato com simuladores e a descrição do relatório se faz um desafio, de modo que houve um crescimento inerente ao mesmo que concluiu este trabalho.

Referências

- [1] M. Philip J. Pritchard, Fox, *Introduction to fluid mechanics.*
- [2] M. Wiliams, *What are the Different Types of Renewable Energy?*, 2016 (accessed April 13, 2016).
- [3] R. F. Bastos, “The title of the work,” Master’s thesis, Universidade de São Paulo, Rua Comendador Alfredo Mafei, 7 1993. Orientador da Presente Iniciação Científica.
- [4] P. V. D. B. J. V. M. Mohamed Daowd, Noshin Omar, “Passive and active battery balancing comparison based on matlab simulation,” *IEE*, 2009.
- [5] Z. L. Yi Tao, “Study on modeling and application of ultracapacitor,” *Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, 2014.
- [6] M. Thecnologies, *Seling Ultracapacitor*, 2016 (accessed April 13, 2016).
- [7] M. T. C. M. Flavio Maron Vichi, “An improved ultracapacitor equivalent circuit model for the design of energy storage power systems,” *Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Systems*, 2007.
- [8] J. Garthwaite, *How ultracapacitors work (and why they fall short)*, 2016 (accessed April 13, 2016).
- [9] M. T. C. M. Flavio Maron Vichi, “Energia, meio ambiente e economia: o brasil no contexto mundial,” *Quimica Nova*, vol. 32, pp. 757–767, 4 2009. Recebido em 24/1/09; aceito em 30/3/09; publicado na web em 2/4/09.