

Gerenciador de energia para o controle de despacho de potência para sistemas fotovoltaicos

Energy manager for power dispatch for photovoltaic systems

RESUMO

Este artigo apresenta um gerenciador automático de energia proposto para um sistema fotovoltaico de geração distribuída. O gerenciamento do sistema é realizado por um controlador de alto nível que monitora variáveis pertinentes e atua simultaneamente com os controladores do conversor elevador de tensão e do inversor de potência. Visando maximizar a extração de potência do sistema fotovoltaico, utiliza-se uma estratégia de rastreamento do ponto de máxima potência. Finalmente, os controles de potência e corrente são desenvolvidos por conversores chaveados de alta frequência, necessitando a elevação da tensão contínua produzida pelos painéis, o controle de um sistema de armazenamento bidirecional de energia e a inversão da tensão adequando as cargas encontradas nas indústrias e residências. Para o funcionamento adequado do sistema de geração distribuída, o gerenciador de energia mantém a operação intermitente, gerando referências para o despacho de potência, selecionando as devidas malhas de controle e atuando em pontos específicos como o corte de cargas e balanço de potências. O funcionamento dessa estrutura de controle é ilustrado nesse trabalho através de um fluxograma implementado em linguagem C. Os resultados do gerenciamento são apresentados através de um estudo de caso, realizando simulações no software PSIM, possibilitando verificar o desempenho do gerenciador proposto.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema fotovoltaico. Gerenciamento. Redes inteligentes.

ABSTRACT

This paper presents an automatic energy manager proposed for a distributed generation photovoltaic system. System management is performed by a high-level controller that monitors relevant variables and acts simultaneously with the voltage converter and power inverter controllers. In order to maximize the power extraction from the photovoltaic system, a maximum power point tracking strategy is used. Finally, power and current controls are developed by high frequency switched converters, requiring the elevation of the continuous voltage produced by the panels, the control of a bidirectional energy storage system and the voltage inversion to suit the loads found in industries and homes. For proper operation of the distributed generation system, the power manager keeps the operation intermittent, generating references for the power dispatch, selecting the appropriate control loops and acting on specific points such as load shedding and power balance. The operation of this control structure is illustrated in this work through a flowchart implemented in C language. The management results are presented through a case study, performing simulations in the PSIM software, allowing to verify the performance of the proposed manager.

KEYWORDS: Photovoltaic System. Management. Smart grids.

Kelvin de Jesus Marinho
kelvinmarinho@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Jean Patric da Costa
jpcosta@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

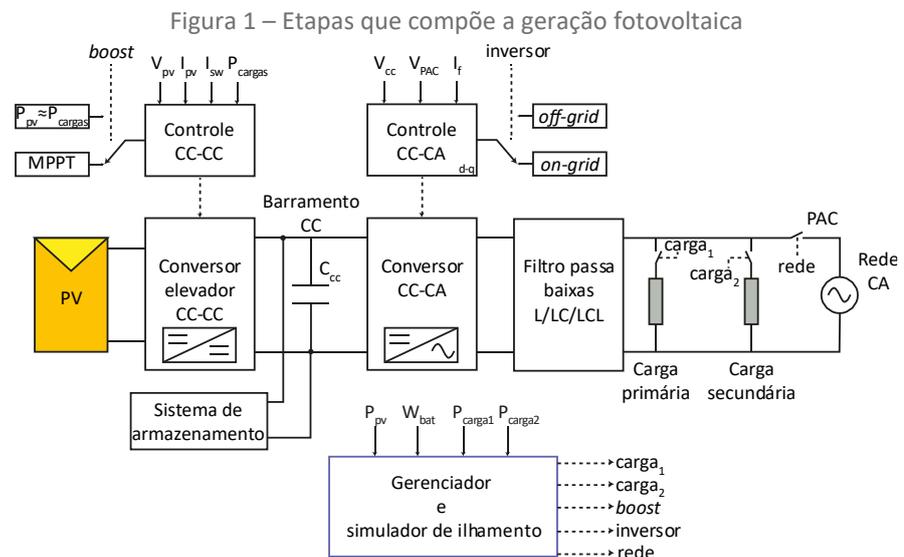


1 INTRODUÇÃO

Devido à grande necessidade da introdução de fontes renováveis na matriz energética nacional e até mesmo mundial, a geração de energia elétrica por meio da luz solar está cada vez mais adquirindo uma posição de importância no sistema elétrico de potência. Sendo assim, busca-se o entendimento e o aperfeiçoamento dos estágios presentes no sistema de geração distribuída (GD). Nesse cenário é que o presente trabalho tem a intenção de apresentar as etapas de uma micro-rede simplória, disposto de um gerenciador inteligente de energia.

2 ESTÁGIOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

São diversos estágios que compreendem a geração fotovoltaica, sendo eles: conversão da energia luminosa em energia elétrica pelos painéis solares (PV), condicionamento da potência elétrica pelo conversor CC-CC, conversão da tensão contínua para alternada pelo conversor CC-CA, filtragem do sinal e por fim, a rede elétrica que ora pode fornecer energia, ora absorver. Na figura 1 pode ser visualizado um diagrama genérico em cascata das etapas em mencionadas, do sistema de potência e também de controle. Há também a possibilidade do uso de baterias, aumentando a autonomia do sistema e permitindo o uso de um gerenciador de energia que opere com um grau maior de liberdade.



Fonte: Autoria própria baseado em Brandão; Marafão; Farret; Simões (2013).

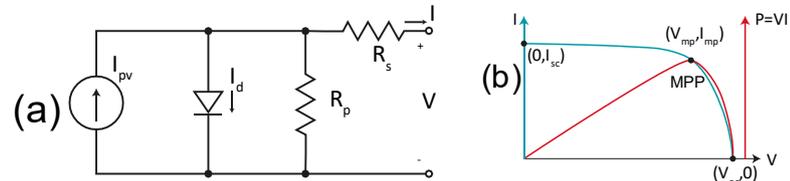
2.1 PAINÉIS SOLARES

Na geração solar, o elemento principal é a célula fotovoltaica, sendo constituída de material semicondutor, tipo $p-n$. Elas podem ser arranjadas de tal maneira a formar painéis ou módulos fotovoltaicos. A conversão da energia luminosa em energia elétrica ocorre devido a incidência da luz que movimenta os portadores de carga, originando uma corrente elétrica (VILLALVA, 2010).

O arranjo das células mencionadas gera um modelo que deve levar em conta a corrente originada pela luz, assim como as resistências que surgem devido ao

agrupamento das células. O modelo prático que representa o painel solar pode ser visto na figura 2, assim como a curva de saída do respectivo modelo.

Figura 2 – (a) Modelo do arranjo de células fotovoltaicas (b) Curva de saída do arranjo fotovoltaico



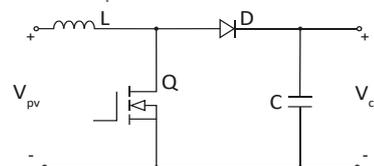
Fonte: Autoria própria baseado em Villalva (2010).

Destaca-se três pontos convenientes da curva corrente por tensão ($I \times V$), sendo que dois desses apresentam potência elétrica, produto da tensão pela corrente, nula, sendo os representados pelas coordenadas $(0, I_{sc})$ e $(V_{oc}, 0)$. Estes pontos são importantes para conhecer os limites operacionais do arranjo fotovoltaico, que são delimitados pela corrente de curto circuito I_{sc} e pela tensão de circuito aberto V_{oc} . Já a coordenada (V_{mp}, I_{mp}) exhibe o maior valor de potência de saída do painel (*MPP – Maximum Power Point*).

2.2 CONVERSOR CC-CC

O conversor CC-CC realiza o condicionamento da potência extraída do painel solar (NOVAIS, 2016). Dessa forma deve ser conectado logo após o arranjo, ou seja, é por meio do conversor CC-CC é que se controla o ponto de operação do painel solar (V_{pv}, I_{pv}) . Converte níveis de tensão contínua na sua entrada para outro nível também CC em sua saída. No caso da geração fotovoltaica esses conversores devem ser do tipo *boost* (figura 3), sendo que a tensão de saída deve ser maior que a de entrada. É indispensável essa abordagem, pois as tensões geradas pelos painéis são relativamente baixas, quando comparadas a tensão senoidal que se deseja obter, com o uso do conversor CC-CA, descrito na seção 2.3.

Figura 3 – Esquemático do conversor *boost*



Fonte: Autoria própria baseado em Novais (2016).

2.2.1 Rastreamento do ponto de máxima potência

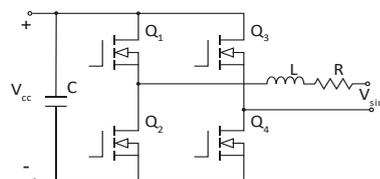
No rastreamento do ponto de máxima potência (*MPPT – Maximum Point Power Tracking*), o método mais simples é o Perturba e Observa. Nesse método a potência do painel deve ficar em torno da máxima potência. A estratégia deve-se basear na curva de saída descrita pela figura 2. O sistema deve ser perturbado com um incremento ou decremento na referência de tensão (V_{pv}) e em seguida, observa-se se está na trajetória correta do MPP. Ou seja, é realizada a coleta da tensão e corrente sendo possível calcular a potência elétrica, com um certo

período de amostragem. Na sequência é realizada a comparação da potência momentânea com a retida da amostra anterior. Caso a potência atual seja maior que a anterior, é factível dizer que se guia no rumo correto do MPP, e então perturba-se na mesma direção (incremento ou decremento) para uma nova averiguação. No contrário é realizada a perturbação no sentido oposto da decisão anterior (NOVAIS, 2016).

2.3 CONVERSOR CC-CA

O conversor CC-CA é o responsável por sintetizar o sinal alternado senoidal da rede. No instante em que a rede elétrica está presente no sistema (*on-grid*), esse conversor é o grande responsável pelo despacho de potência ativa e reativa na rede elétrica, em que se deve ter um controle dessas variáveis. Dessa forma, o comportamento dele é de fonte de corrente vista pela rede, já que é potência elétrica que é controlada para o despacho, e a tensão é determinada pelo ponto de conexão com a rede (PAC). No momento em que o sistema opera ilhado, sem a rede (*off-grid*), o conversor CC-CA deve ter um comportamento de fonte de tensão, despachando potência nominal para as cargas locais (BRANDÃO; MARAFÃO; FARRET; SIMÕES, 2013). Na figura 4 é possível visualizar uma topologia de conversor em ponte completa com um filtro LR (primeira ordem) acoplado.

Figura 4 – Esquemático do conversor CC-CA



Fonte: Autoria própria baseado em Villalva (2010).

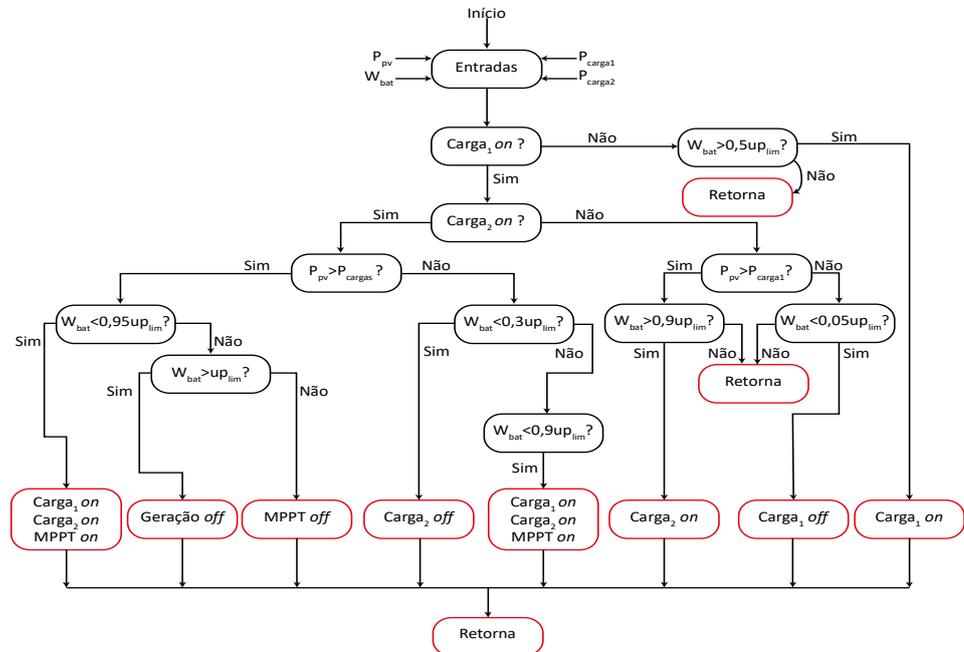
3 GERENCIADOR DE ENERGIA

Com intuito de otimização e estabilidade do sistema pode-se dispor de um gerenciador de energia, que tem por finalidade realizar o controle de despacho de potência para a rede ou manter o balanço de potência entre geração, armazenamento e carga. No sistema de geração distribuída, quando o sistema opera *on-grid*, toda potência gerada pelos painéis deve ser despachada.

Já no modo *off-grid*, a decisão do gerenciador deve se basear de acordo com as potências de geração, cargas e com a energia do sistema de armazenamento (BRANDÃO; MARAFÃO; FARRET; SIMÕES, 2013). Há duas cargas locais, sendo prioritária a carga₁. Caso a potência demandada pelas cargas seja maior q a geração, então as baterias devem suprir essa diferença, nessa situação, se a energia armazenada diminuir a 30% de sua capacidade (u_{pim}), decide-se cortar a carga₂. E na continuação da diminuição da energia atingindo 0,05%, a carga₁ não deve ser mais alimentada, pois não há mais como manter o balanço de potência entre os elementos presentes. A carga₁ somente irá ser abastecida novamente quando a bateria atingir 50% de sua capacidade, e a carga₂ somente com 90%. Na possibilidade de haver mais potência de geração que demandada pelas cargas, deve-se atentar ao limite máximo que o sistema de armazenamento pode atuar.

Quando o nível atingir a 95%, o sistema deve sair do MPPT, buscando igualar potência de geração a das cargas, para que não haja um excesso de energia na bateria. Um fluxograma com o descrito pode ser encontrado na figura 5.

Figura 5 – Fluxograma do gerenciador de energia no modo *off-grid*

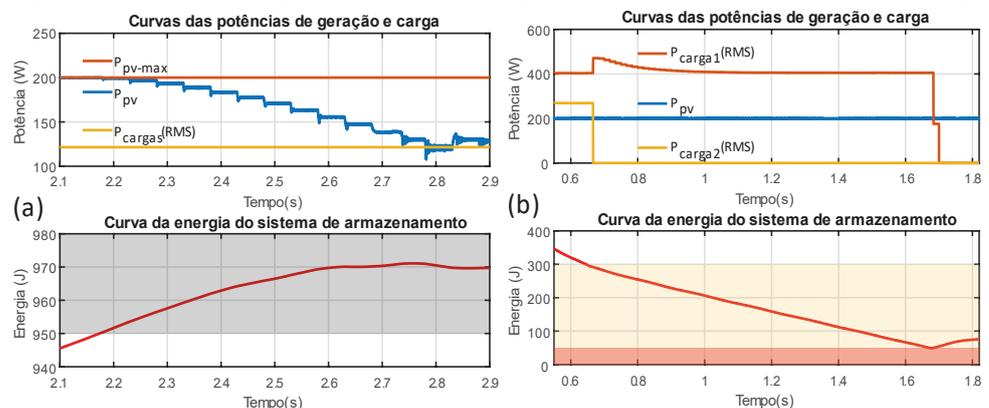


Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

Simulando a micro-rede com geração fotovoltaica, conforme figura 1, no software PSIM, é possível verificar a validade dos algoritmos do MPPT, gerenciamento de energia e controle dos conversores CC-CC e CC-CA, assim como o acoplamento com a rede. Na simulação, visto na figura 6, em um cenário manteve-se as cargas fixas diferentemente de um caso real, assim como a potência de geração. Vale ressaltar que o sistema de armazenamento, com up_{lim} de 1000 Joules, é constituído de uma fonte de corrente controlada, que supre ou absorve a diferença de potência entre geração e carga e regula o barramento CC.

Figura 6 – (a) Cenário 1: geração maior que carga (b) Cenário 2: geração menor que carga



Fonte: Autoria própria.

No primeiro cenário, a potência extraída do painel solar coincide com a máxima potência teórica do arranjo, validando o algoritmo do Perturba e Observa. Dessa forma, o sistema de armazenamento é carregado até o limiar superior, a partir disso, o controle imposto ao conversor *boost* é comutado saindo do MPPT, igualando a potência de geração com a das cargas, conforme o esperado. Já no segundo cenário, a potência demandada pelas cargas supera a extraída pelo arranjo fotovoltaico, levando ao descarregamento do sistema de armazenamento até 30% do total, provocando o corte da carga₂ tornando a sua potência a 0 W. Mas ainda a demanda da carga₁ ainda é maior que a potência de geração, então essa carga primária será alimentada até a bateria atingir a 5% de sua capacidade. Nesse cenário o algoritmo do MPPT permanece sempre ativo.

5 CONCLUSÃO

Neste artigo apresentou-se a constituição necessária para que um sistema fotovoltaico possa despachar potência para a vizinhança operando conectado à rede ou ilhado. Ainda com o uso do gerenciador automático tem-se a possibilidade de manter o sistema equilibrado no modo ilhado, já conectado à rede o intuito foi de entregar toda a potência extraída do painel para as cargas locais ou rede. Ainda a estratégia do algoritmo do MPPT contribui também para produtividade global.

Como sugestão para possíveis trabalhos futuros seja a introdução das variáveis de custos de potências ativa e reativa no caso de compra e venda dessas grandezas pela concessionária da rede elétrica. Dessa forma, será possível atuar no gerenciamento de forma mais ampla, minimizando as tarifas do usuário.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil. Agradeço também ao professor orientador Jean Patric da Costa pela sua contribuição, prestatividade e apoio.

REFERÊNCIAS

VILLALVA, M. G. **Conversor eletrônico de potência trifásico para sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

NOVAIS, H. H. B. **Análise e implementação de técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência para sistemas fotovoltaicos**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

BRANDÃO, D. I.; MARAFÃO, F. P.; FARRET, F.A.; SIMÕES, M. G. **Proposta de metodologia para o gerenciamento automático de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída**. 2013.