

순시출력전류 제어기법에 의한 인버터 아크 용접기 특성에 관한 연구

김진욱, 채영민, 고재석, 목형수, 최규하
건국대학교 전기공학과

A Study on Characteristics of Instantaneous Output Current Control Method for Inverter Arc Welding Machine

J.W Kim, Y.M Chae, J.S Gho, H.S. Mok, G.H Choe
Dept. of Electrical Eng. Kon-Kuk Univ.

ABSTRACT

Recently the performance of CO₂ arc welding machine has been advanced significantly through the adoption of inverter circuit topology which made it possible to control the waveform of welding current and thus to suppress the spatter generation. However, the optimum waveform is still uncertain. As a first step for figuring out the promising waveforms, this study was performed to set-up the experimental system for studying the effect of waveform variables. The overall system is controlled digital controller using single chip microprocessor of 80C196KC. As a result of performance test of this system, it was demonstrated all of the waveform variables could be set individually and the generated spatter is reduced compare to conventional inverter arc welding machine.

1. 서 론

일반적으로 산업현장에서 많이 사용되는 GMA용접기는 보호가스로 사용되는 CO₂ 가스가 경제적이라는 잇점이 있는 반면, 스파터의 발생량이 많다는 단점이 있다[1]. 최근 다양한 연구를 통하여 용융금속의 이행과정은 중력, 표면장력, 자기 불림, 핀치효과, 전자기력 등에 기인한다는 것을 밝혀냈고, 특히 아크와 단락에 의한 대전류의 급변과 전자기력이 스파터 발생의 주원인이 되는 것으로 알려져 있다[2]-[5].

이러한 스파터의 발생은 용융금속 이행시의 단락전류의 급변에 의하여 발생되며 이를 방지하기 위하여 용접전원 출력측에 DC 리액터를 사용하여 전류의 급격한 변화를 조절하는 형태로 스파터의 발생을 억제한다. 그러나 용접전류의 크기에 따른 최적의 리액터 크기가 달라지기 때문에, 하나의 리액터

로써는 다양한 용접전류에서 최적의 용접성능을 기대하기가 어렵다. 따라서 인버터 용접기의 경우 인버터의 고주파 스위칭동작을 이용하여 각 전류값에 맞는 리액턴스 값을 갖도록 제어하고 있다. 그러나 이러한 방식의 제어도 인버터의 고속의 제어성능을 최적으로 이용한 방법이 아니며, 또한 리액터에 의한 전류의 증감만으로 스파터를 감소시키는 데에는 한계가 있다[4]-[6].

따라서 본 논문에서는 CO₂ 아크 용접의 단락이행 과정에서 발생하는 스파터를 최소화하기 위하여 마이크로프로세서를 사용한 디지털 컨트롤러를 이용하여 저전류영역인 단락구간에서 최소의 스파터를 발생하는 임의의 용접기 출력전류 파형을 갖도록 제어하는 순시출력전류 제어기법에 의한 인버터 아크 용접기에 관한 연구를 수행하였다.

2. 아크용접기의 회로구조

인버터 아크 용접기의 회로구조는 그림 1과 같다. 입력측의 다이오드 정류기와 커패시터는 3상 교류전원을 정류하여 평활된 직류로 변환하고, 임의의 용접기 출력을 얻기위한 인버터는 고속의 스위칭동작을 통하여 직류전압을 고주파의 교류로 변환하며 인버터 출력측의 고주파 변압기와 정류기를 거쳐 용접을 위한 DC 출력전압을 얻게 된다.

이러한 DC 출력전압은 송급모터에 의해 공급되는 와이어와 모재사이에 인가되고 인가된 전압에 의해 발생하는 아크열에 의해 송급되는 와이어와 모재가 용융되어 용접이 이루어지게 된다. 현재 사용되는 대부분의 인버터 용접기의 출력제어방식은 용접기의 출력전압을 정전압 특성을 갖도록 유지시키고, 용접기 출력전류는 송급모터의 속도제어를 통하여 제어하는 방식을 사용한다.

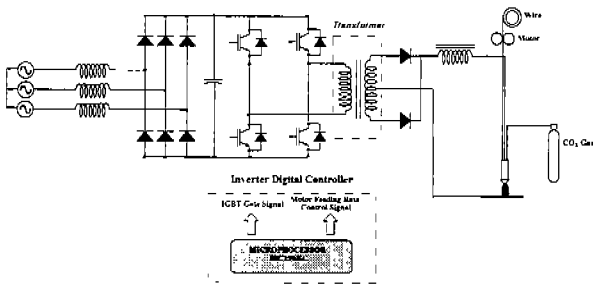


그림 1 인버터 아크 용접기 회로도

3. 순시출력전류 제어기법

CO₂ 아크 용접기의 저전류에서의 금속이행과정에서는 그림 2와 같이 전기적인 단락과 아크가 반복되는 단락이행이 발생하게 된다. 그림 2(a)는 전류제어를 하지않고 일정한 DC 출력전압을 인가하고 용접시 단락이행과정중의 전압과 전류의 파형으로써 그림의 (1)에서는 아크가 지속되며 송급되는 와이어와 모재를 녹이게 되고 금속이 용융되어 용적이 자라나게 되면 (2)에서와 같이 용적과 모재가 닿아 전기적인 단락이 발생하게 된다. 이처럼 단락이 발생되면 그림 2(a)의 (3)과 같이 급상승하는 단락전류가 흐르게 된다. 이러한 단락에 의한 대전류는 용적과 용융지 사이에 전자기력을 발생시켜 용융금속의 단락을 파단시키고 (4)와 같이 아크를 재발생시켜 아크열에 의해 송급와이어를 녹이는 과정을 반복한다.

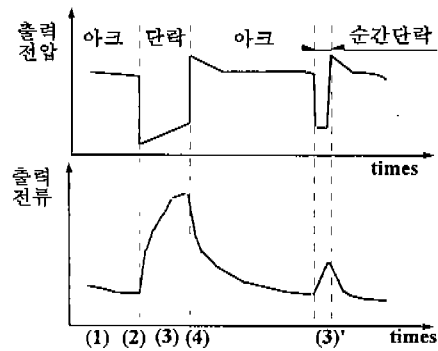
이상과 같은 단락이행과정에서 스파터가 주로 발생하는 구간은 단락시작순간과 아크의 재발생순간이며, 이외에도 구간 (2)~(3)사이의 단락전류의 급상승으로 인하여 용적이 용융지로 정상적인 이행과정을 수행하지 못하고 스파터로 비산되는 (3)'와 같은 순간단락현상시에 스파터가 다량으로 발생된다.

따라서 본 논문에서는 단락발생시의 스파터를 저감시키고 안정된 단락주기를 형성하여 순간단락 현상을 방지하기 위한 순시출력전류 제어방식의 인버터 용접기에 관하여 연구하였다.

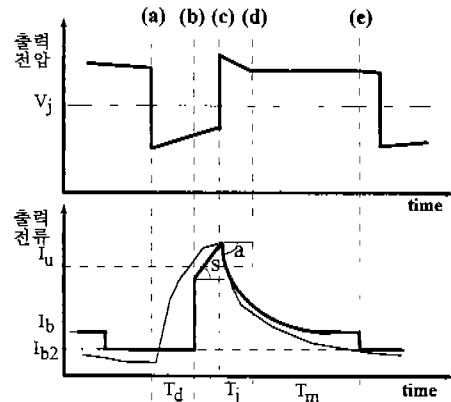
그림 2(b)는 제안된 인버터 아크 용접기의 출력전류 모식도로서 그림 2(b)의 (a)에서와 같이 단락이 발생시 용적의 완전한 단락을 위하여 전류의 증가를 억제하고 이에 따라서 단락발생시의 스파터 발생을 최소화 시키며, 일정시간 T_d 동안 이전의 전류값 I_{b2} 를 유지한다. 지연시간 이후 용적이 완전히 단락되면 (b)에서와 같이 출력전류를 I_u 까지 급상승시킨후 S의 기울기를 가지도록 출력전류를 상승시켜 단락기동이 용융되어 모재로 이동하도록 유도한다. (c)에서 단락이 파단되어지고 아크가 재발생될 때에는 a의 기울기로 전류를 감소시켜 아크의 재발생을 촉진하며 아크가 재발생 되면 아크의 안정화를 위하여 I_b 의 일정한 출력전류를 유지하도록 제어하여 송

급되는 와이어가 충분히 용융될 수 있도록 한다.

또한 아크가 오랫동안 지속되어 용적의 크기가 지나치게 증가되면 비대한 용적이 충격을 받아 정상적인 단락이행과정이 이루어지지 않고 용융지로 떨어지게 된다. 이와같이 비정상적인 용적이행이 발생시에는 다음번의 금속이행과정에서 와이어가 충분히 용융되지 못하고 정상적인 단락이행이 이루어지기 어려우며 이는 스파터 발생의 원인이 된다. 따라서 T_m 의 시간 이내에 단락이 발생하지 않으면 아크전류 I_b 에서 I_{b2} 의 전류로 낮추어 단락을 유도토록 한다. 이러한 단락의 유도를 통해 단락과 아크의 주기가 규칙적으로 나타나게 되는 것을 기대할 수 있었고 이상은 실험을 통해 확인할 수 있었다.



(a) 범용 용접기 단락이행시 출력파형



(b) 제안된 용접기 단락이행시 출력파형

그림 2 인버터 아크 용접기의 출력 전압 전류파형

4. 순시출력전류 제어기법의 구현

CO₂ 인버터 아크 용접기의 순시출력전류 제어기법은 실제 용접기 출력전류가 디지털 컨트롤러에서 출력하는 임의의 파형

을 추종하도록 제어하는 방식으로써 이때 출력전류의 기준신호는 스파터의 발생을 최소화 하는 파형을 출력하고 인버터를 통하여 출력전류를 증감시켜 제어한다. 전술한 바와 같이 출력전류의 기준신호 파형은 마이크로프로세서를 통하여 생성되며 제어요소인 지연시간 T_d , 단락전류의 상승치 I_u , 전류의 상승 및 하강 기울기 s 와 a , 그리고 아크전류 I_b 와 I_{b2} 및 아크제한시간 T_j 등은 임의로 변화할 수 있도록 하였으며 실험을 통해 최적의 제어요소 값들을 찾아낼 수 있도록 구성하였다. 또한 시스템 속응성을 위하여 전류제어기와 변조기는 아날로그 회로를 사용하여 구성하였다.

마이크로프로세서는 저역통과 필터를 거친 전압신호를 A/D 컨버터를 통해 받아들여 현재의 용접 상태가 아크인지 단락 인지를 판측하고, 아크시에는 단락유도를 위한 전류기준신호를 출력하고 단락이 발생시에는 그림 2(b)에 나타난 바와 같은 시퀀스에 따라 단락지연후 전류를 증가시키고 아크가 재생시에는 다시 단락유도를 위한 전류기준신호를 출력한다.

이상과 같이 각 시퀀스에 해당하는 기준전류파형은 D/A 컨버터를 거쳐 출력되고 실제의 전류와 비교되어 PI 제어기와 변조기를 거쳐 인버터 게이트로 인가된다. 아래 그림 3은 이상과 같이 제어되는 제안된 용접기 시스템의 제어블록선도이다. 그림 4는 용접기 출력전류의 기준신호파형을 생성하기 위한 순서도로써 제어 프로그램은 크게 각종변수들과 샘플링주기 (5KHz)에 대한 초기화를 수행는 부분과 A/D 컨버터 인터럽트부 및 그림 4에 나타난 바와 같이 터치스위치의 상태를 판별하여 용접기 시스템의 ON/OFF를 결정하고 샘플링된 출력 전압신호를 바탕으로 단락과 아크를 판별하여 기준전류의 파형을 생성하여 출력하는 부분으로 구성되어 있다.

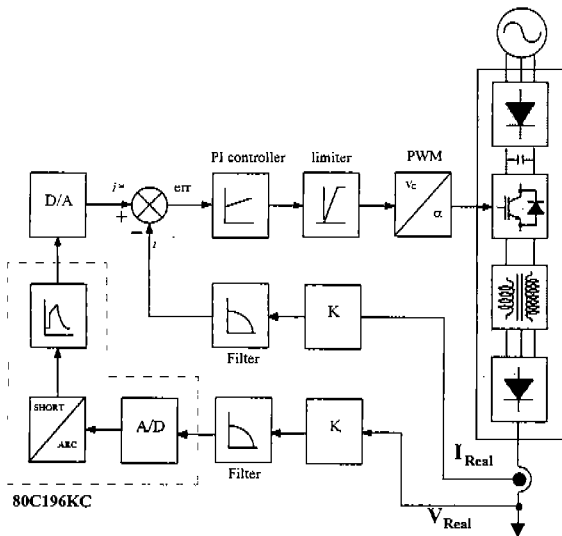


그림3 제안된 용접기 시스템의 블록다이어그램

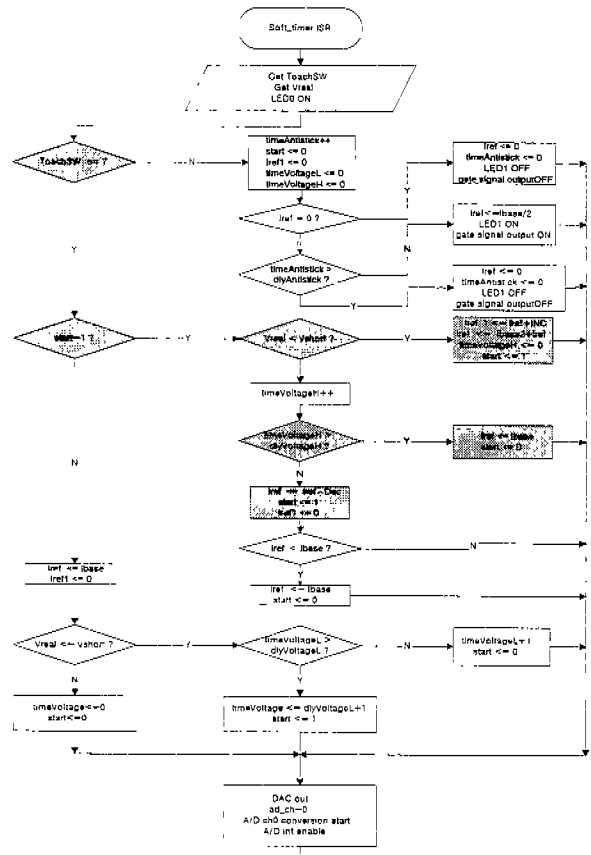


그림4 프로그램 흐름도

5. 실험결과 및 검토

본 절에서는 제안된 인버터 아크 용접기의 용접성능 향상에 관한 실험결과를 기존의 인버터 아크 용접기와 비교, 분석하였다. 제안된 시스템의 기준전류파형의 제어요소는 전술한 바와 같이 지연시간, 단락전류 상승치, 단락전류 상승기울기, 아크전류 하강기울기, 아크전류 등으로 구분되며 실험에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

표1 파형제어 요소의 파라미터

파형제어 요소	설정값
지연시간 T_d	3 msec
Base 전류 I_{Base}	100 A
단락전류 상승제한치 I_u	250 A
아크 전류 I_b	150 A
단락전류 상승기울기 I_{sv}	57.5 A/msec
아크시 전류 기울기 I_{arc}	60.5 A/msec

용접조건으로 사용된 송급와이어는 1.2 [mm] Si-Mn 와이어 이고 사용된 모재는 300×100×6 [mm] steel 모재를 사용하였으며, 토치각은 0°, 전극거리 1.5 [mm], 용접속도 5 [m/min]으로 하여 실험하였으며 평균용접전압은 22 [V]로 유지하였다.

그림 5는 제안된 용접기 시스템의 출력전압, 전류 및 디지털 컨트롤러에서 발생하는 기준전류신호의 파형으로써 그림에서와 같이 용접전압의 각 상태에 따라 전술한 제어요소들에 의해 만들어지는 기준전류가 출력되고 있음을 확인할 수 있으며, 이때 실제 출력전류가 기준 전류신호를 추종하고 있음을 알 수 있다. 특히 그림에서 출력전압의 파형에서 전압이 감소하는 단락구간에서 출력전류가 베이스 값으로 확실히 유지된 후 상승됨을 알 수 있다.

그림 6과 7은 기존의 범용 인버터 아크 용접기와 본 논문에서 제안된 용접기를 비교실험한 결과로서 용접기의 평균 출력전류와 출력전압을 각각 200A, 22V로 설정하여 실험하였다.

그림 6은 0.1초 동안의 용접기 출력전압 및 전류의 파형으로서 그림에서와 같이 제안된 용접기의 출력전압과 전류파형이 기존의 용접기에 비하여 규칙적임을 알 수 있고 이는 용접기 출력전류제어가 원활히 수행됨에 따라 단락주기가 일정해지기 때문이다. 특히 그림 (a)의 기존의 범용 용접기에서의 출력전류파형을 관찰하면 단락주기가 일정하지 않음에 따라서 단락전류의 주기가 불규칙하고, 단락전류의 피크치의 크기도 균일하지 않음을 볼 수 있으며 그림 (b)의 제안된 용접기의 경우에는 균일한 단락주기와 단락전류의 피크치의 크기가 거의 일정함을 관찰할 수 있다. 이러한 일정하고 규칙적인 단락 주기는 비정상적인 금속이행과정인 순간단락현상을 감소시켜 궁극적으로 용접성능을 향상시킬 수 있다. 또한 실제 순간단락 횟수도 기존의 용접기에 비하여 제안된 용접기 시스템이 현저하게 감소되었음을 알 수 있다

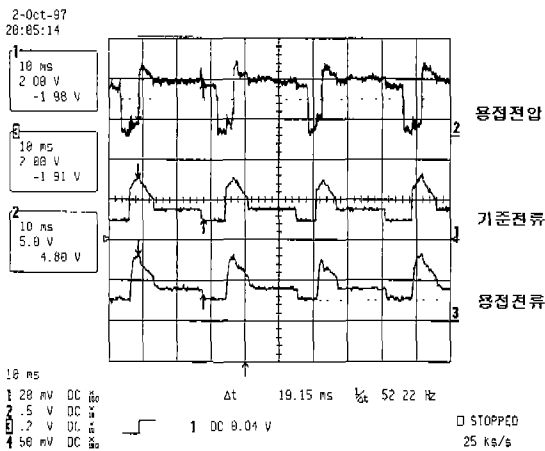
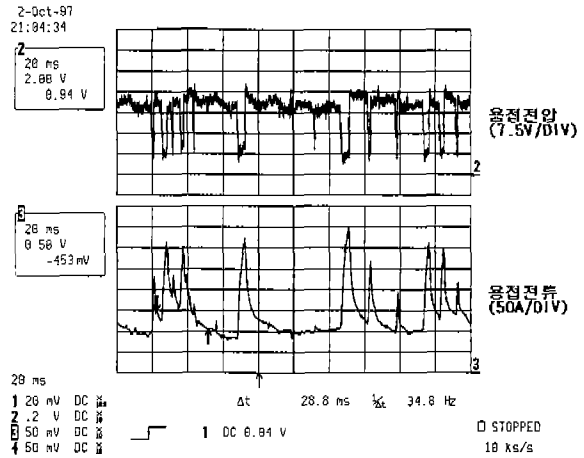
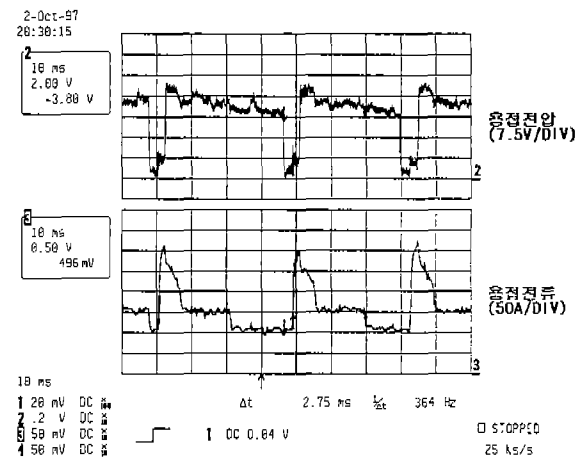


그림5 제안된 용접기 각부 파형 (15V/Div, 200A/Div, 10msec/Div)

그림 7은 그림 6의 용접전압, 전류의 V-I 파형으로써 2초동안 10,000개의 출력전압과 전류 데이터를 이용한 히스토그램이다. 그림 7(a)의 기존의 인버터 용접기의 경우 그림에 나타난 바와 같이 정상적인 단락이행 이외에 다수의 순간단락현상의 발생으로 인하여 규칙적인 모양이 이루어지지 않고 전압과 전류의 궤적내부에 많은 직선이 나타남을 볼 수 있다. 본 논문의 순시전류 제어기법에 의한 용접기의 경우인 그림 7(b)는 순간단락현상이 현저하게 감소함을 볼 수 있으며 단락을 유도하기 위해 아크전류를 변화시켰던 알고리즘에 의해 단락이 발생하는 시점이 2가지 경우로 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 순간단락이 발생하더라도 전류가 상승되지 않으므로 기존 용접기의 경우와는 달리 출력전압과 전류의 궤적내부에 직선이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

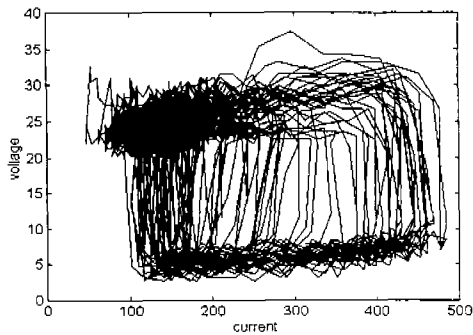


(a) 범용 인버터 아크 용접기

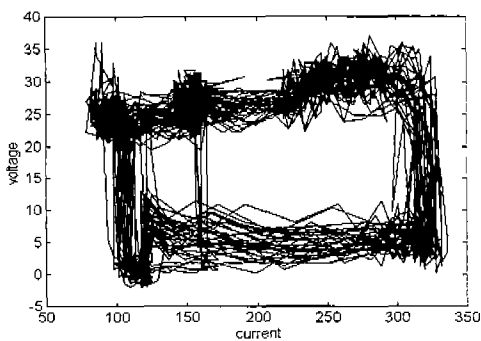


(b) 제안된 인버터 아크 용접기

그림 6 용접기 출력전압 및 전류파형 (10 msec/div)



(a) 범용 인버터 아크 용접기



(b) 제안된 인버터 아크 용접기

그림 7 인버터 용접기 출력전압 및 전류파형

6. 결 론

본 논문에서는 단락이행시의 용접성능 향상을 위한 순시출력 전류제어형 인버터 아크 용접기의 개발을 목적으로 제어시스템을 구성하였다. 인버터 시스템 제어를 위한 제어기로 마이크로프로세서인 80C196KC를 이용한 디지털 제어기를 설계, 제작하여 실험을 수행하였고, 그 결과 개발된 용접기 시스템의 경우 기존의 인버터 용접기와는 달리 출력전류의 제어요소를 프로그램에 의하여 변환하는 것이 가능하고, 단락이행시

순시적으로 출력전류를 제어하는 것이 가능하였으며, 더욱이 이상의 제어를 통하여 안정된 단락주기의 형성, 순간단락비 감소, 아크시간의 변동계수 향상 및 스패터 발생을 억제하는데 효과적인 결과를 얻을 수 있었다.

향후의 이상의 순시전류제어기법을 바탕으로 단락이행과정에서의 스패터발생을 최소화하고 용접성능을 향상시키기 위하여 다양한 실험을 통한 제어요소의 최적화를 도출하는 것이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] H. Yamamoto "Recent advances in welding power systems for automated welding", *Journal of Japan Weld* Vol.64, No.6, pp. 457, 1995.
- [2] S. Liu and T. A. Siewert, "Metal transfer in gas metal arc welding : Droplet rate", *Welding Journal*, Vol.68, No.2, p.52 - s, 1989.
- [3] J.A.Johnson et al. "Process control of GMAW : Sensing of metal transfer mode", *Welding Journal*, Vol.70, No1.5, pp. 91-s, 1991.
- [4] H. Yamamoto et al. "The Development of Welding Current Control Systems for spatter reduction", *Welding International*, Vol.4 No.5, pp. 398-407, 1990
- [5] T. Mita, "Reduction Spatter in CO₂ Gas- Shielded Arc Welding -Waveform Control", *Welding International*, Vol.3, pp. 227-232, 1989
- [6] J. Zubak et.al, "Pulsewidth Modulated Inverter Motor Drives with Improved Modulation", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol.IA-11, pp.101-108, Nov./Dec. 1975.
- [7] J.Holtz, "Pulsewidth Modulation - A Survey", *IEEE PESC*, pp11-18, 1992.