

13.56MHz RF GENERATOR 및 AUTO MATCHING SYSTEM

(1차년도 중간 보고서)

1996. 10. 30

통 상 산 업 부

제 출 문

통 상 산 업 부 장 관 귀 하

본 보고서를 "13.56MHz RF GENERATOR 및 AUTO MATCHING SYSTEM" (개발기간 : 1995. 12. 31 ~ 1996. 12. 30)과제의 중간보고서로 제출합니다.

1996. 10. 30.

개발사업주관기관명 : 서울산업대학교

개발사업총괄책임자 : 장 우 진

연 구 원 : 여 인 선

: 이 진 우

: 장 택 수

: 구 성 완

: 이 병 일

: 최 대 규

: 김 남 정

: 최 상 돈

: 이 인 용

: 위 순 임

: 김 도 천

요 약 서

1. 최종(당해)개발 목표 포함

반도체 Wafer, 에칭, 확산, 후처리 및 재료공학, 섬유공학, 피막코팅 등에 사용할 수 있는 전원장치로서 발진부, Power Amp부, AC→DC Converter부, Filter부, Control부, 센서부, Matching회로 등으로 구성된 아래 규격의 고효율, 고신뢰도, 장수명의 13.56MHz 고정주파수 전원장치와 Chamber내에 안정된 Plasma 방전을 일으키는데 절대 필수적인 Auto Matching 시스템을 개발한다.

o 고효율, 장수명의 13.56MHz 전원 장치

- 해당부분 : 발진부, Power Amp부, AC→DC 컨버터부, Filter부
- 회로효율 : 80% ↑ (기존 60%정도)
- 입력역률 : 85% ↑ (기존 65%정도)
- 정격수명 : 20,000 Hr ↑
- 개발규격 : 300W, 1kW
- 전자파장애 (EMI) : FCC CLASS B 수준
- 고조파 함유율(THD) : -40dB ↓
- 출력 변동율 : 0.1% ↓
- 주파수 변동율 : 0.1% ↓
- VSWR : 30% 이상에서 24시간 견딤
- PROTECT : 순간차단

o 고속 AUTO MATCHING 시스템

- 해당부분 : 센서부, 콘트롤부, PC Interface부, Matching 회로부
- LCD 기능 DISPLAY : Matching Element 값 표시, Motor Speed 값 표시, Forward/Reverse 값 표시
- HARDWARE : 80C196KC (INTEL社)
- SOFTWARE : Impedance 계산 Program, Motor 제어 Program, PC Interface Program
- SENSOR : 자기유도방식
- MATCHING TIME : 3초이내 (기존 5초~15초)
- OVER SHOOT율 : 20%이내

II. 기술 개발의 목적 및 중요성

최근 전세계 PC, 멀티미디어, 통신기기, FA 등의 발달로 반도체 Memory Chip의 수요가 폭증하고있다. Memory 반도체는 우리나라 전체 수출량의 약 20%를 담당하며, 전세계 Memory Chip시장 판매량에서 1, 2위를 다투고 있으나 막상 반도체를 생산하는 장비는 선진국의 기술이전 회피 및 막대한 연구개발비, 설비투자비, 그리고 첨단인력 부족으로 전량 외국에 의존하고 있다.

이에 국가적으로 첨단산업의 육성차원에서 일부 반도체 장비의 국산화가 추진되고 있으며, 반도체 제작 약 300개 공정중 60%에 해당하는 Wafer공정용 장비에 집중되고 있다. 이는 Plasma 에칭, Plasma CVD, 에쉬 등을 말하며 Chamber와 전원장치로 구성되어있다.

Wafer 한장이 만들어지기까지는 약 3개월간의 공정기간이 필요하다. 이 과정에서 Wafer의 불량률을 줄이면 반도체 수출확대이고, 곧 경쟁력확대라고 말할 수 있으며 이를 좌우하는 가장 큰 요인은 Chamber내 Plasma의 안정성에 있다, Plasma를 생성하기 위하여 외부에서 전계와 자계를 인가하여 주는 전원장치가 필수적이며, 바로 이 전원장치의 안정성이 생성된 Plasma의 질을 좌우한다.

Chamber내의 Impedance를 CPU로 계산하여 자동 매칭을 이루면, 안정된 Plasma 방전을 일으켜 Wafer에 손상이 가지 않도록 가공할 수 있고, 또한 재료 공학, 섬유 공학 등에 사용하는 피막코팅 및 요즘 공해 문제를 야기시키는 습식 도금을 건식도금으로 바꿀 수 있다. 이에따라 고신뢰도의 13.56MHz RF전원장치 및 Auto Matching 시스템의 개발이 절실히 요구되고있다.

그러므로, 국내 반도체 장비의 선진기술 확보를 위해서는 Chamber 개발과 병행하여 RF전원장치 및 Auto Matching 시스템의 개발은 필수적이며, 개발 실용화될경우 전량 수입에 의존하는 전원장치를 수입대체 할 수 있고 반도체 관련장비 산업의 대외 경쟁력 강화와 수출증대를 도모할 수 있으며 건식코팅 등 주변 산업에도 파급효과가 크리라 예상된다.

III. 기술 개발의 내용 및 범위

- 13.56MHz발진부 설계 및 기술개발
- 고효율 Power Amp부 설계 및 기술개발
- AC→DC 컨버터부 설계 및 기술개발
- Filter부 설계 및 기술개발
- 정밀한 Forward, Reflect 값을 얻을 수 있는 센서 기술개발
- Power Control부 설계 및 기술개발
- 신속한 Protect부 설계 및 기술개발
- Matching 제어 Program 개발
- 1차 시작품(300W급) 전원장치 제작 및 평가

IV. 기술 개발 결과 및 활용에 대한 건의

- 반도체 산업에서 Wafer의 수율 향상
- 건식코팅 산업에서 각종제품 개발에 활용
- RF 방전을 이용한 Plasma 용접기에 활용
- 고주파 전원을 이용한 폴리에틸렌의 접합에 활용
- RF 방전을 이용한 박막 코팅에 활용
- RF 방전을 이용한 섬유 코팅에 활용
- Plasma 방전 상태의 업의 Impedance를 측정하는 계측기로서의 활용
- 참여기업에 의한 적극적인 양산화 유도
- 반도체 및 코팅 관련산업의 고부가가치 상품 개발유도

목 차

제 1 장 서 론

제 2 장 13.56MHz RF GENERATOR 및 AUTO MATCHING SYSTEM

제 1 절 PLASMA 방전 SYSTEM의 구조와 MATCHING원리

제 2 절 13.56MHz RF GENERATOR

제 3 절 AUTO MATCHER

제 3 장 견품 분석및 시작평가

제 1 절 견품 분석

제 2 절 시작평가

제 4 장 검토사항

제 1 장 서론

고정주파수 13.56MHz RF전원장치 및 Auto Matching 시스템은 반도체 제조 및 건식코팅시 Main전원으로서 Chamber내에 Plasma를 생성한다. 발생한 Plasma는 에칭, 확산, 후처리 등에 주로 사용하고 있으며 그 수요 또한 급속신장하고 있으나 국내 반도체 업체들은 미국이나 일본의 장비 Maker로부터 전량 수입, 사용하여 반도체 장비관련 사업의 선진기술 확보에 어려움이 큰 바 고정 주파수 13.56MHz RF전원장치 및 Auto Matching 시스템의 필요성을 실감하게 되었다.

이러한 필요성으로 인하여 국내의 일부 업체에서도 수년전부터 고정주파수 13.56MHz RF전원장치 및 Auto Matching 시스템의 개발을 시도하였으나 반도체 공정상 필요한 24시간 연속 운영시 Power 변동이 없을 것, 타 장비들에 Noise를 유발하지 말아야 할것, Wafer교환시 아주 정 확한 Chamber내의 Impedance를 계산하여 Auto Matching 시킬 것 등의 엄격한 품질요구에 미흡한 상태이며, 반도체 제조시 Wafer한장에 소요되는 시간과 경비가 엄청난 점을 감안할 때 고신뢰의 RF전원장치와 Auto Matching에 대응할 수 있는 고조파 성분의 제거, 고효율 Power단 설계, Auto Matching Sensor 및 Control 기술 개발은 아직 전무한 실정이다.

국내에서 현재 사용되고 있는 RF전원 장치와 Matching은 300W, 600W, 1kW 급의 수동 Matching을 사용하며, 학교 및 연구기관이나 건식코팅에 주로 사용하고 있으나, 반도체 제조시 요구되는 저 Noise, 출력 전력안정, 수율확대 등을 위해서는 1kW이상 고출력을 갖춘 고신뢰의 고정주파수 RF전원 장치와 CPU를 장착한 Auto Matching 기술 개발이 필요하다고 사료된다.

본 보고서에서는 위와 같은 개발의 필요성에 의해 고정주파수 13.56MHz RF 전원장치 및 Auto Matching에 관하여 기본적인 기술을 제 1차년도에 완성하였고, 기존의 외국타사 제품을 분석하여 앞으로 개발하여야할 과제에 대하여 기술 한다.

제 2 장 13.56MHz R/F GENERATOR 및 AUTO MATCHING SYSTEM

전세계적으로 급속한 팽창일로의 반도체 산업과 병행하여 RF전원장치와 Auto Matching 시스템도 비약적으로 발전하고 있으며 그중 13.56MHz RF전원장치는 1895년 마르코니의 무선통신 성공이후 부분적으로 사용되어오다 1932년 세계전파 규정회의에서 공업용 주파수로 분류되어 통신쪽보다는 반도체 장비인 Chamber의 Main 전원으로 사용되어왔으며 1970년대의 VLSI출현과 PC, 통신기기, 멀티미디어, FA등의 수요급증에 따라 비약적인 성장과 더불어 그 수요가 계속 증가하고 있다. 한편, RF전원장치 및 Auto Matching 시스템의 세계시장을 선도하고 있는 미국, 일본에서 고신뢰의 전원장치를 개발하기위해 전원장치의 핵심부품인 고주파 전력 트랜지스터, 페라이트 코어, 진공 가변 커패시터 등의 부품뿐 아니라 고주파 Filter CPU를 첨가한 전원 Control장치, AC→DC Converter 등에 막대한 투자를 하고 있으며 미국의 AE社와 일본의 DAIHEN社에서는 Chamber내의 Impedance를 CPU를 사용하여 계산하고 Missile추적 장치의 원리를 이용하여 Chamber내에 저충격, 고속 Matching을 실현한 시스템을 선보이고 있다. 건식 코팅이나 반도체에서 요구되는 RF천원 및 Matching 시스템은 작업 공정상 고도의 기술을 필요로하기 때문에 위 두 회사에서 개발한 것과 같은 특징을 가진 장치들이 앞으로의 시장을 주도하리라 예상된다.

제 1 절 PLASMA 방전 SYSTEM의 구조와 MATCHING원리

1. 반도체 제조에 사용되는 PLASMA 방전 원리와 구조

고주파 전자기에 의해 일어나는 전기적 방전은 직류나 저주파 교류에 의한 것과는 여러가지 면에서 매우 다르다. 특히 방전의 개시와 방전을 지속시키는 조건이 차이를 보인다. 고주파가 방전에 미치는 영향을 기술하기 위하여 전자기계(Electromagnetic field)가 기체에 미치는 영향을 먼저 고려하여야 하며 일반적인 기체방전에서 고려 되어지는 사항과 마찬가지로 매우 복잡하다.

고주파가 기체에 인가되면 기체 내의 하전입자가 가속된다. 질량의 차이로 인하여 자유전자는 이온보다 훨씬 많이 가속되며 이온보다 자유전자에 에너지 전달이 많이 된다. 전자는 우주선 등의 외부요인에 의하여 기체 내에 항상 어느정도 존재한다. 만약, 전자가 존재하지 않는다면 전계가 가해진다 하더라도 에너지 전달이 이루어지지 않을 것이고, 따라서 방전은 일어나지 않을 것이다. 전계의 방향이 바뀌면 전자에 가해지는 힘의 방향도 바뀌고, 따라서 전자는 기체를 수용하고 있는 Chamber의 벽이 멀리 떨어져 있을 경우, 기체 내에서 진동하게 된다.

이점이 고주파 방전과 저주파 방전의 주된 차이점이다. 주파수가 낮으면 전자가 방향을 바꾸기도 전에 전자는 Chamber의 벽에 도달하게 된다. 전자의 충돌은 다른 전자를 방출하거나 관벽에 부착된 불순물 원자를 방출하게 한다.

고주파전자계 내에 기체 원자가 없고 전자만이 존재한다면 전자는 전계내에서 진동을 할 것이고 에너지 전달은 일어나지 않는다. 기체가 존재하면 전자는 가속되어 전계로부터 전자에 에너지 전달이 일어난다. 전자는 전계로부터 에너지를 얻는 반면, 원자와의 충돌로 에너지를 잃는다. 만약 전계가 충분히 크다면 전자는 원자를 여기 시키는데 필요한 에너지보다 더 큰 에너지를 얻을 수 있고 계속되는 충돌에 의하여 전자는 원자를 여기시키고 자신은 에너지를 잃게된다.

원자에 전달된 이 에너지는 원자가 기저준위로 복귀할 때 방사된다.

여기 에너지보다 더 큰 에너지를 가지는 전자의 일부만이 실제로 원자를 여기시키며, 어떤 전자는 따라서 원자를 이온화 할 수 있는 충분한 에너지를 얻게 된다. 이 전자가 원자와 충돌하면 또 다른 전자를 얻게 되며, 이 과정에 의해 전자를 생성하게 된다. 이와 동시에 전자는 Chamber쪽으로의 확산에 의해 양이온과 재결합하여, 또는 중성원자나 분자에 포획되어 소멸된다.

이 생성과 소멸의 상대적인 값에 의하여 전자의 농도가 결정되며 시스템의 전기적 특성이 결정된다. 생성과 소멸의 비율은 가스의 종류, 가스의 밀도, Chamber의 형상 등의 복잡한 함수이다.

고주파 전계를 발생시키기 위하여 고주파 전력을 발생하는 전원장치가 필요하며 이 고주파 전력을 Chamber내에 효과적으로 공급할수 있는 Matcher가 필요하다.

현재 가장 중요한 반도체 제조 공정중 식각(Etching)과 성장(Deposition), Sputter, Asher등에 13.56MHz RF Generator와 Auto Matcher가 사용되고 있으며 그림 1-1은 Parallel형 Plasma Etching장비의 개략도를 보여주고 있다.

석영제의 Parallel형 Chamber내에 반응 Gas를 도입하며, 그의 외곽에 있는 평판 전극에 의하여 용량적으로 또는 Coill에 의하여 유도적으로 고주파 전력을 인가하며 Plasma를 발생하는 방식을 사용하고있다. Wafer는 Chamber내에 석영제 Boat의 위에 담겨서(보유) Plasma중에서 전기적으로 Floating상태에 놓이게 된다. Wafer와 Plasma의 전위와의 차는 10-20V 이며, 양 Ion은 이 전위차에 의해 가속되어 Wafer에 입사한다. 그 때문에 Ion의 충격효과가 적어서 주로 방향성이 없는 중성레디칼과 피가공 재료와의 화학적인 반응에 의해 등방적인 Etching이 진행된다.

이 장비에서는 석영 Chamber내에서 Plasma가 형성되기 때문에 반도체 Device에 유해한 불순물 오염도 거의 없고 Ion Energy도 적어서 손상이 적다.

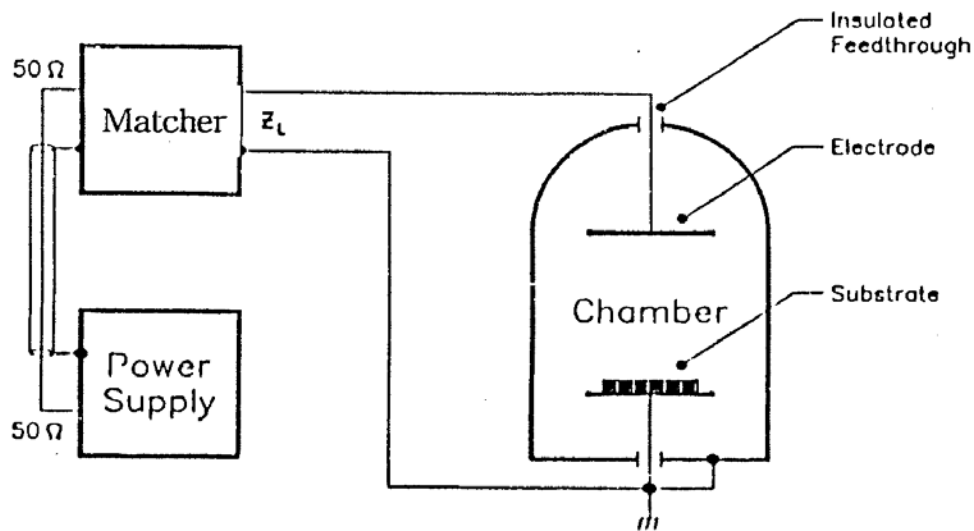


그림 1-1 Parallel형 PLASMA ETCHING 장비

2. MATCHING 원리

전력을 소스에서 부하로 최대한 전달하기 위한 임피던스 정합(Impedance Matching)은 RF회로 설계에 매우 중요하다. 그림 1-2에 이 이론에 대한 이해를 돕기 위한 회로와 이 회로에 대한 계산식이 있다.

직류회로에서 부하 저항과 소스저항이 같다면 전력은 소스에서 부하로 가장 잘 전달 된다는 매우 잘 알려진 이론이 있다.

이와 비슷하지만 교류 또는 시간-변화 파형의 경우에는 소스에서 부하까지 전력을 가장 잘 전달하려면 부하 임피던스(Z_L)가 소스 임피던스의 공액복소수 (Complex conjugate)과 같아야한다. 이 임피던스 식을 실제로 사용되는 회로에 적용해보자.

그림 1-3의 회로에서 소스 임피던스 Z_S 는 저항 R_S 와 $+jX$ 를 나타내는 리액티브 부품인 인덕터가 직렬로 연결되어있고, 부하 임피던스 Z_L 은 저항 R_L 과 $-jX$ 를 나타내는 리액티브 부품인 커패시터가 직렬로 연결되어 있는데 이 회로에서 소스와 부하 임피던스가 직렬로 연결 되었으므로 소스의 $+jX$ 와 부하의 $-jX$ 성분들은 직렬이므로 서로 상쇄되고 결과적으로 R_S 와 R_L 만 남게된다.

이 두저항의 크기는 같으므로 직류 회로에서와 같이 최대한의 전력이 전달된다.

위 예와같은 임피던스 정합에서 이루어지는 임피던스정합은 한 주파수에 대해서만 정확하게 정합되고 이 주파수가 아닌 주파수에 대해서는 임피던스 정합이 나빠지다가 주파수가 많이 차이가 나게 되면 임피던스 정합이 전혀되지 않는다. 이와 같은 현상은 광대역 회로에 임피던스 정합을 이룰 수가 없다는 것을 의미하므로 문제가 아닐 수 없지만 가변 커패시터를 사용하거나 인덕터에 Tap을 설치하여 사용하게 되면 13.56MHz 고정주파수에서는 실제 문제 되지 않는다.

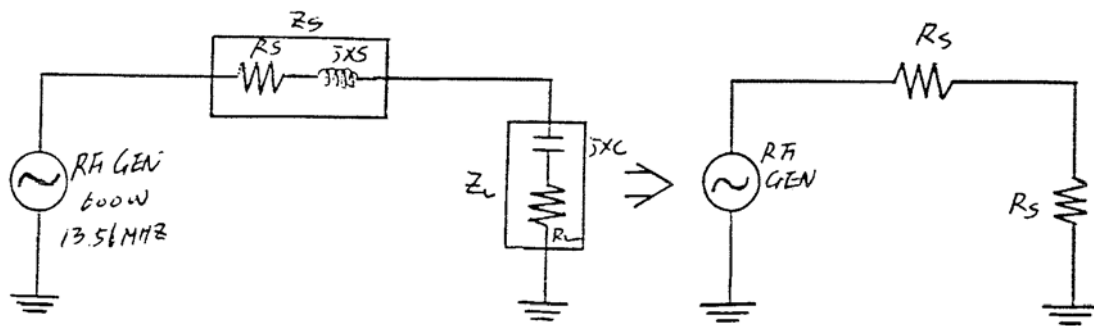


그림 1 3 자체의 공액복소수를 구동하는 소스 임피던스와 결과적인 등가 회로

제 2 절 13.56MHz R/F' GENERATOR

1. 기존회로

고직접 반도체의 개발 요구에 따라 이전에는 진공관식 RF Generator (2MHz ~ 30MHz)를 사용하다 대용량 TR과 FET가 등장하고 나서는 소형 경량화를 지향해서 발전하고 있는 추세이며 전세계적인 RF Generator 제조회사 중 미국 ENI사, RFPP 사, AE사 등 3개사 일본 DAIHAN, 프랑스 SAIRAM사 등이 있으며 여기서는 현재 반도체 제조공정중 약 45%정도를 차지하고 있는 Trans방식이며, 수냉식인 ENI사의 RF Generator를 중심으로 회로소개를 한다.

그림 1-4는 Control Board 회로와 Power Amp 등에 전원을 공급하기 위해서 입력 전원인 AC 220V를 50[V], 25[A]등의 DC전원으로 바꾸어주는 부분이다. 200V의 입력선을 연결하고 250V 20A짜리 퓨즈를 통과한다음 입력선으로 부터 들어오는 Noies를 방지하기 위한 Filter를 설치하고 Breaker S/W를 설치한다. 전원 전압의 \pm 오차 때문에 Main Trans 입력단에 전압조절용 Tap를 설치하여 출력전압을 일정하게 유지시키고 이를 전파 정류해서 Ripple를 제거하기 위해 전해 Capacitor를 설치하여 Power TR의 공급전원인 50V를 만들어 낸다.

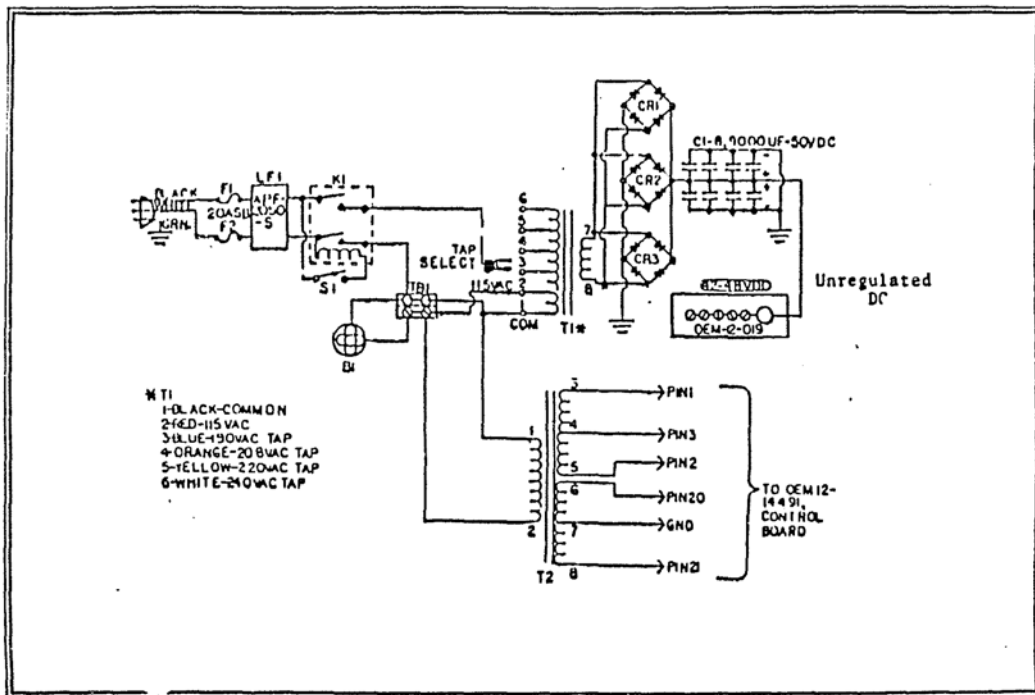


그림 1-4 전력공급 개략도

그림 1-5는 전원회로를 거친 다음 Control Board에서 발진한 13.56MHz 3mW신호를 드라이브 단에서 약 60W정도로 신호를 확대한 다음 Power Amp로 보내서 각 Power단 300W씩 총 1250W를 만들어서 Combiner로 전력을 합친다음 13.56MHz 외의 주파수를 거르기 위해 Filter를 통과한 다음 Power Control과 Protect를 위해 VSWR(정재파비)Meter를 설치하여 Forward 와 Reverse Power를 검출해서 Control Board로 보내고 출력신호는 Output Connector에 연결한다.

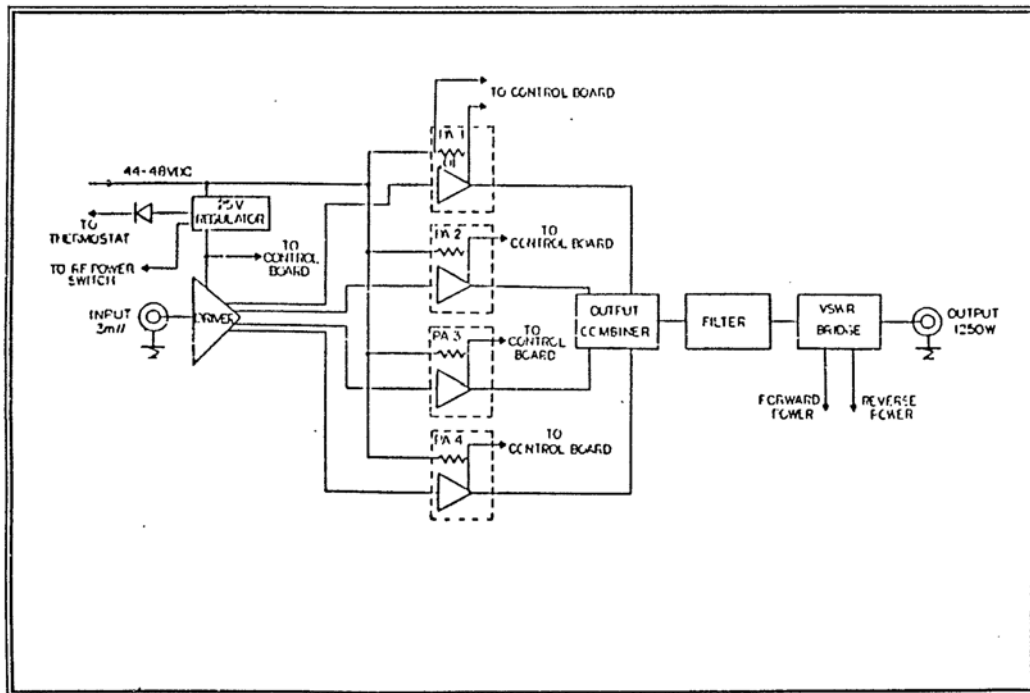


그림 1-5 RF 부분 개략도

44V to 48V

Current Sense Resistor .01

P.A. Board Assy.

6.2V

500

100

7.5K

10K

2K

IC2

300K

To Other P.A. Current Sense

R65

R66

R70

C26

R73

L.E.D.

Q1

R74

R75

R77

+25

Note: (+) and (-) Voltages Denote ±15V Referenced To The Unregulated DC 44V to 48V

– 15 –

그림 1-7은 R/F Generator의 종단에 부하 임피던스와 Matching이 잘되었는가를 알아보면서 Power TR의 손상을 막기 위한 회로이다.

VSWR Sensor에서 입력을 받게 되는데 이때의 입력은 비선형이기 때문에 IC4를 거쳐면서 일단 직선형 값으로 만든 다음 한쪽은 Meter Display상으로 가고 한쪽은 Reverse 통제를 하기 위해 IC6의 Op Amp에서 반전 단자에 주어진 기준 전압과 비교하여 일정한 값을 넘어서면 Power를 줄이기 위해 Q3를 동작하여 이 값을 Attenuator(감쇄기)가 알맞게 조정할수 있게한다.

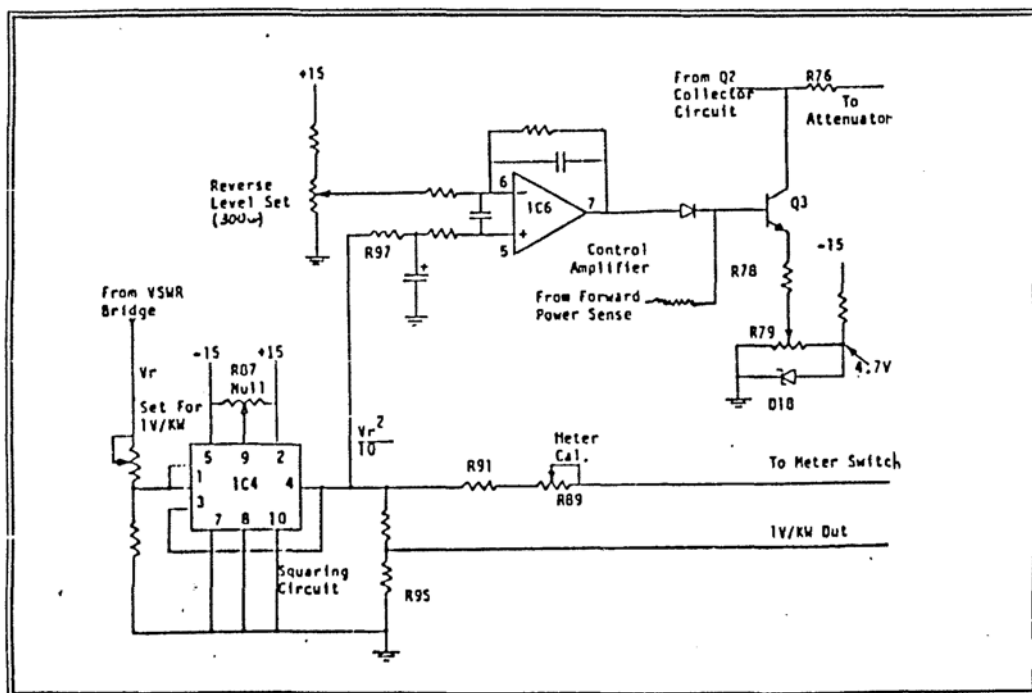


그림 1-7 반사전력 감지 개략도

그림 1-8은 RF Generator 의 Forward Power를 현재 얼마나 보내고 있으며 그 값에 계속유지를 할 수 있게 하기 위한 회로로서 VSWR Sensor에서 입력되는 비선형 값을 IC5를 통과해서 선형으로 만든 다음 Meter Display를 하기 위해 신호를 보내고 다른 한선은 IC6의 반전측에서 입력되는 기준치와 비교하여 일정한 값을 넘어설 때는 Q3를 동작하여 Attenuator(감쇄기)로 보내 Forward Power를 조정할수 있게하며 같은 신호를 Max Power감지 Board로 보낸다. 한편 Local/Remote동작 S/W가 있어 Local일 때는 Front Panel에 있는 Power조절용 다이얼값에 맞추어 동작하나 Remote일 때는 일정한 Analog값이나 Pulse값에 따라 동작 할 수 있다.

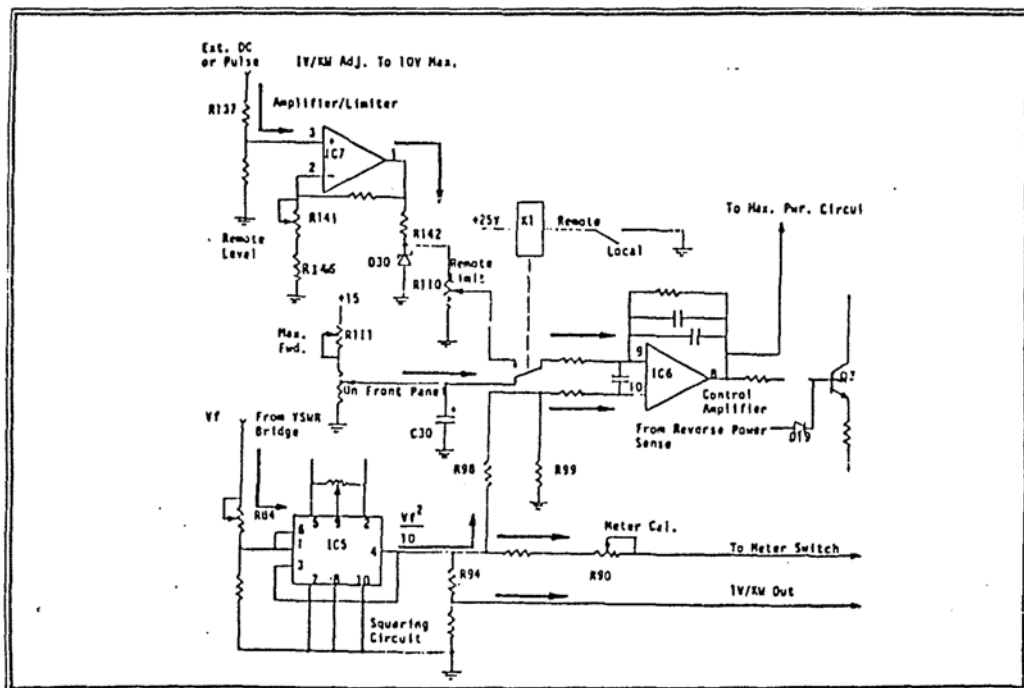


그림 1-8 정전력 감지 개략도

그림 1-9는 Forward Power값을 받아들여 현재의 HF Generator의 출력값이 최대값임을 알려 그 이하로 사용하여 수명을 연장시킴을 목적으로한다.

Forward Power Control Amp로부터 IC6 Op-Amp의 반전 측으로 신호를 받고 비 반전측으로 기준전압을 받아 비교한 다음 일정한 값을 넘어서면 Front Panel의 LED를 점등시켜 Max Power임을 알리고 만일 Remote Control상태일 때 이를 알리기 위한값을 외부 Interface단자로 보낸다.

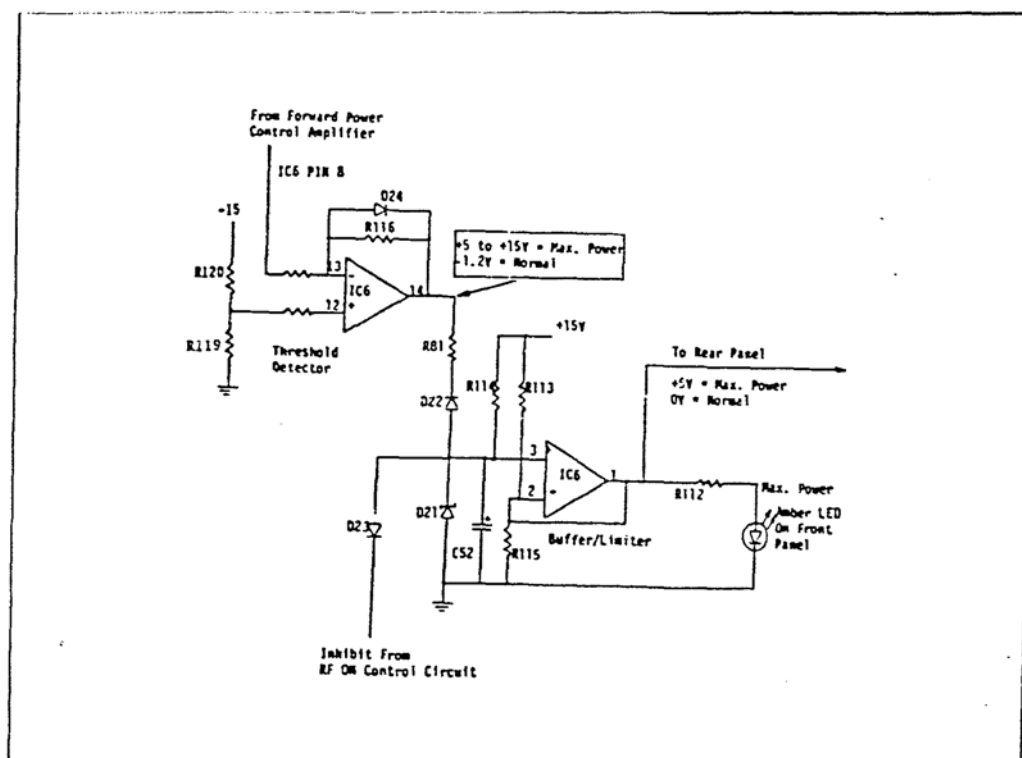


그림 1-9 최대전력 감지 개략도

– 19 –

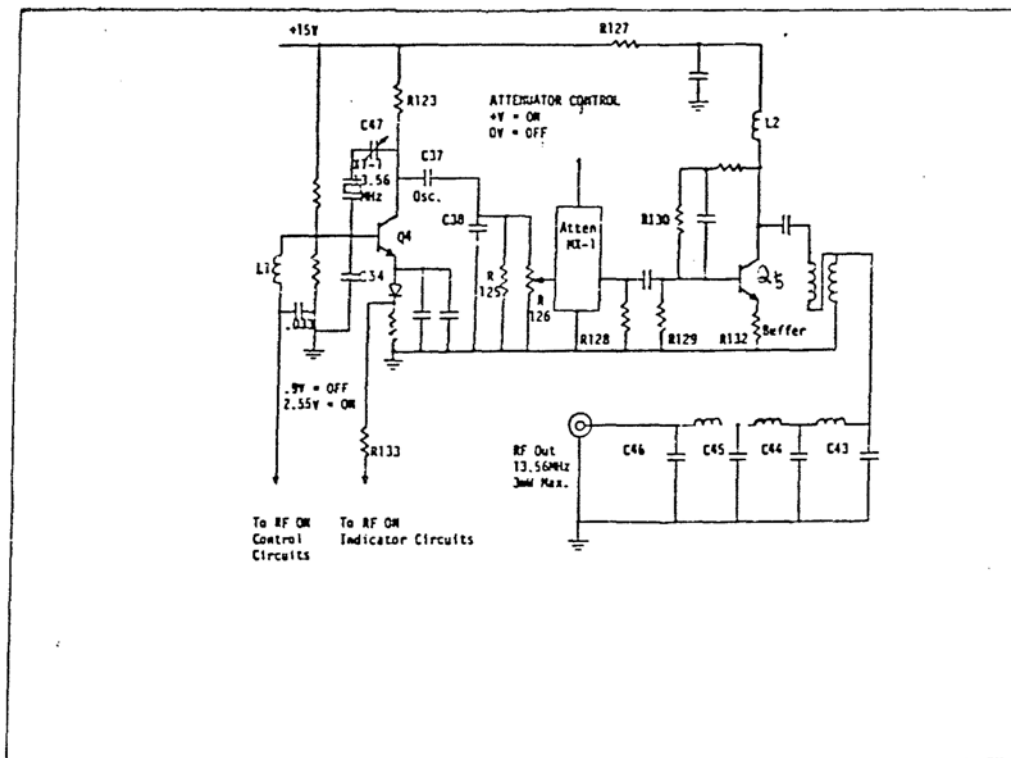
그림 1-11은 13.56MHz의 발진을 하여 Driver Circuit에 3mW의 전력을 공급하기 위한 것으로서 Power Control 기능을 겸하고 있다.

RF ON S/W의 동작에 맞추어 13.56MHz의 XT신호를 발생시킨다. Attenuator MX-1은 이 신호를 Forward Power Setting되어있는 값 만큼 조절하여 Q5을 거치면서 3mW이하의 신호가 만들어 진다.

이 신호 값에는 고조파가 포함되어 있기 때문에 대역통과 Filter를 거친 다음 깨끗한 Sign Wave로 되어 Driver Circuit의 입력단에 공급된다.

이상에서와 같이 ENI社의 RF Control과Power Amp 등의 구조를 알아보았다.

기존의 회로는 RF Generator의 보호를 위한 Forward, Reverse Power의 Sensor의 정밀성에 문제가 있으며 Trans방식을 채택하여 무게가 무거운 단점이 있다.



2. 제안회로

반도체산업의 국제적인 가격경쟁에 따라 한번에 많이 생산할 수 있는 Wafer의 대구경화 및 수율을 높이기 위한 고신뢰성, Clean Room내에서 적은 부피를 차지 위한 경량화 등의 특성을 갖춘 전원장치가 필요하게 되었으며 이러한 욕구에 맞추기 위해서는 전원장치의 SMPS와 Forward, Reverse Power의 Sensing과 Control에 대폭적인 기술 개발이 우선 되어야하며 이러한 점에 본 개발은 역점을 두었다.

보통 1MHz 이상의 고주파 발진은 콜비츠 등의 하트레이 회로가 기본이지만 실제로는 그 변형이나 발전된 타입이 사용되고 있고, 통신 장애 방지의 Guide Line은 국제적으로 CISPR, 국내에서는 전기용품 취급법에 규정되어 있으며 양자 모두가 대체로 같다.

규제값은 매 주파수마다 상세하게 되어 있으며 대체적으로 10[M]거리에서 30-40dB[uV/m]이다.

단 ISM밴드로 불리우는 일부의 주파수는 제한이 설정되어 있지않다. 일본에서는 13.56MHz, 27.12[MHz], 40.68[MHz]와 전자레인지에 사용되고 있는 2.45[GHz]이다. 이들 주파수를 선택하는 것이 노이즈발생에 대한 대책은 아니나 고주파 발생기에서 노이즈의 대책은 필요하다. 13.56[MHz]를 기본파로 하면 제2 또는 제3 고조파는 ISM 밴드에 포함된다. 인체에 대한 고주파의 영향은 법규로 규정되어 있지는 않으나 일본에서는 전자방호 심의회가 10[mW/cm²] 의 규정안을 내놓고 있다. 이와 같은 수준은 보통 대책에서 문제가 안되는 값이다.

Control 방식은 기존의 Analog방식에서 Digital 방식으로 바꾸었다. 본 연구에서 제안되는 회로의 전체적인 블록도를 그림 2-1에 보인다.

그림 2-1은 Digital Control 회로를 선택함으로써 외부와의 Interface를 보다 용이하게 할수 있도록 RS-232기능을 가지고 있으며 LCD Module를 장착하여 기존의 Forward, Reverse Power만 Display하던 것을 기능에 따라 Run Time 선택 및 Display, RF의 단속적인 출력, 여러 대를 같은 위상의 주파수를 출력 시키는 등 여러 기능을 할 수 있다.

Control Board를 중심으로 Power FET에 주전원을 공급하는 Inverter, 13.56[MHz]를 발생시키는 Generator 이것을 60W정도까지 신호를 확대하는 Exciter와 300W로 출력을 높이는 Power Amp부, 고조파의 발생을 방지하는 대역통과필터를 거쳐 Forward, Reverse Power를 측정하는 Directional Coupler 등이 설치되어있다.

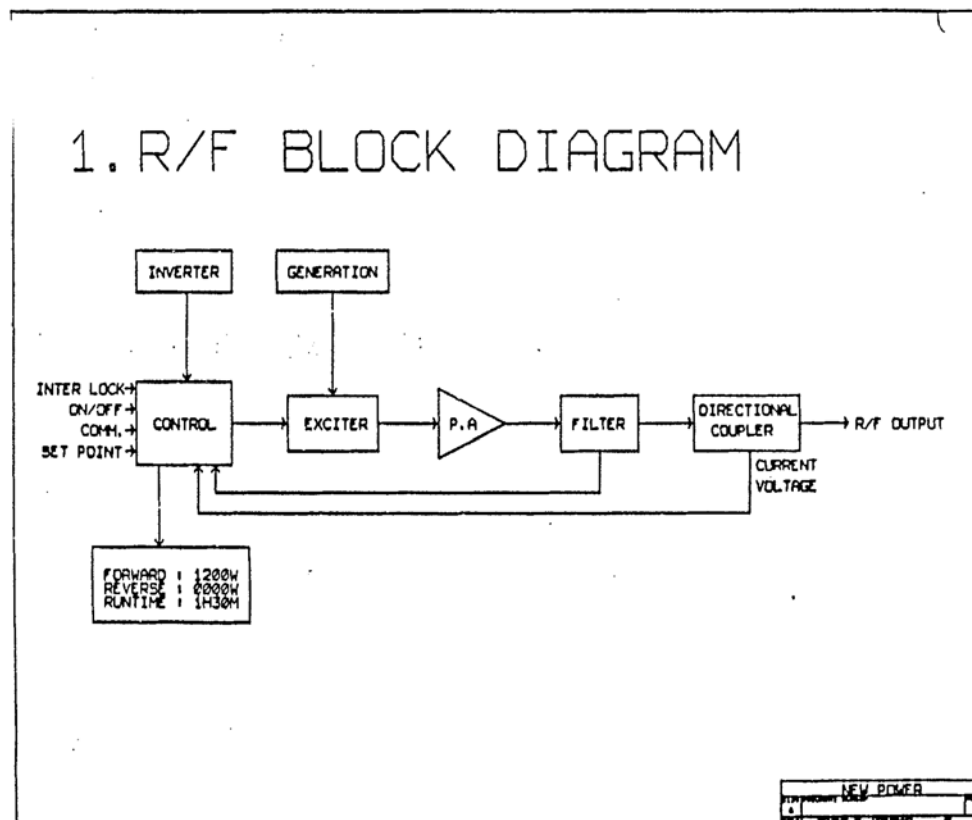


그림 2-1 제안회로의 블럭다이어그램

그림 2-2는 그림 2-1에서 보였던 블록도를 실제로 더 정밀하게 나타낸 것으로서 Driver단에서 사용하는 증폭 TR은 주파수대가 30MHz이하 60W급으로 사용하고 Power Amp에서 사용하는 소자는 사용주파수 150MHz이하 150W급의 FET를 사용하여 Push-Pull증폭회로를 설계하게 되면 효율을 보통 50%정도에서 85%수준까지 올릴 수 있다. 300W급 RF Generator에서는 이 FET 2개만 사용하면 충분이 출력을 낼 수 있고 더 높은 출력을 얻고자 할 때는 FET 개수를 늘리면서 Combiner를 설치하여 FET 각자가 발생시키는 150W를 자체회로로 전력을 모은다음 임피던스 변환하여 희망하는 대용량 RF Generator를 만들 수 있다.

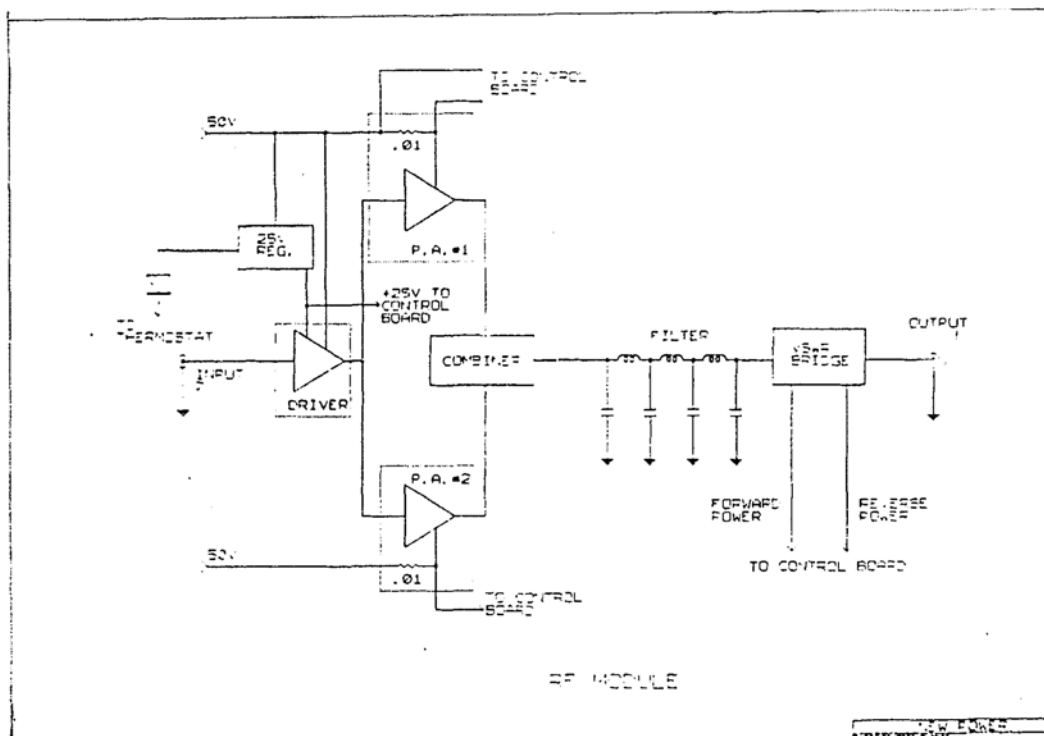


그림 2-2 제안회로 개략도

그림 2-3은 RF Generator에서 소형 경량화를 구현하기 위하여 필수적인 SMPS방식을 사용하여 설계한 것으로서 기존의 Trans방식을 대체하고 고효율, 고신뢰성이 되도록 설계하였다. 입력단에서 AC 220V를 받아 Fuse를 거친다음 전원 Noise방지를 위해 Noise Filter를 거친다음 그림에서는 표시되어있지 않지만 전파정류 Diode를 거쳐 전해 Capacitor에 입력시키면 대략 280[V]정도의 DC 전압이 생긴다. 이를 Q1, Q2, Q3, Q4에 공급한 다음 Q1, Q2와 Q3, Q4의 GATE 전압을 적당한 주기로 교차시키면 T4, T5에 수십 kHz의 교류 주파수가 발생하고 이를 정류하고 Choke Coil L1, L2를 통과하여 C13, C14에 입력시키면 약 50V의 DC전원을 얻을 수 있고 이는 Power FET의 공급전압으로 사용된다.

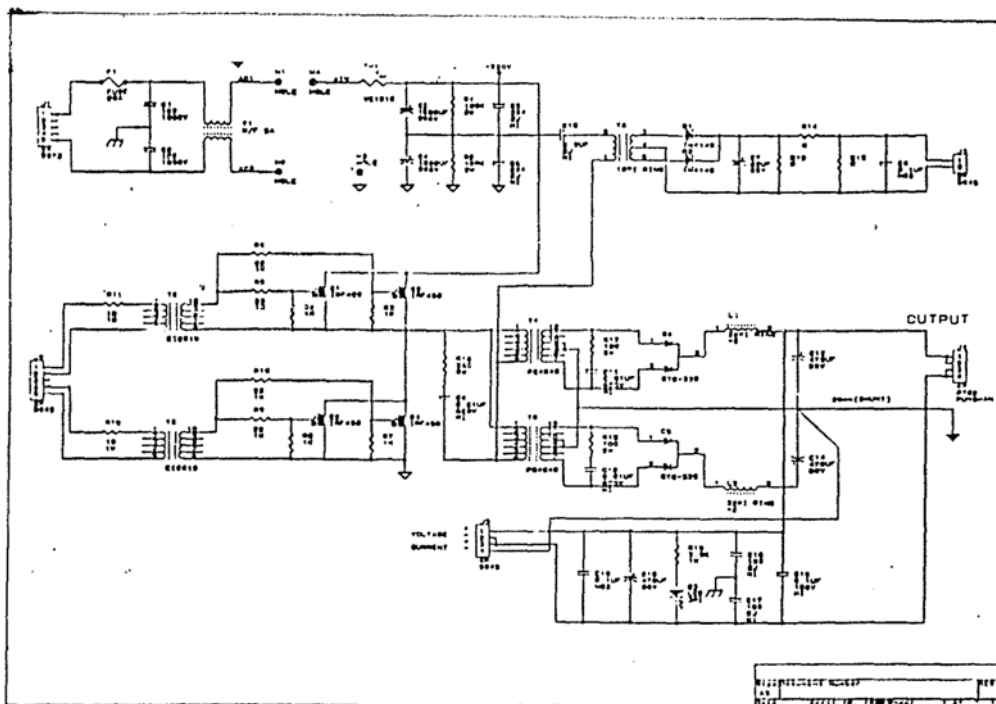


그림 2-3 SMPS 구현 회로도

그림 2-4는 발진단을 표시한 것으로서 13.56[MHz]의 발진을 하여 Speed가 가장 빠른 NANDGATE를 사용하여 발진 주파수의 손실을 최대한 방지하면서 외부 Interface인 Interlock장치, RF의 단속파를 출력할 수 있는 Pulse파 입력, RF Generator를 2대 이상 같은 위상으로 병렬 사용할 수 있게 설계하였으며 대략 80W의 FET를 사용하여 Power Amp에 충분한 전력을 Driver 시킬 수 있는 초단 증폭부까지 검하고 있다.

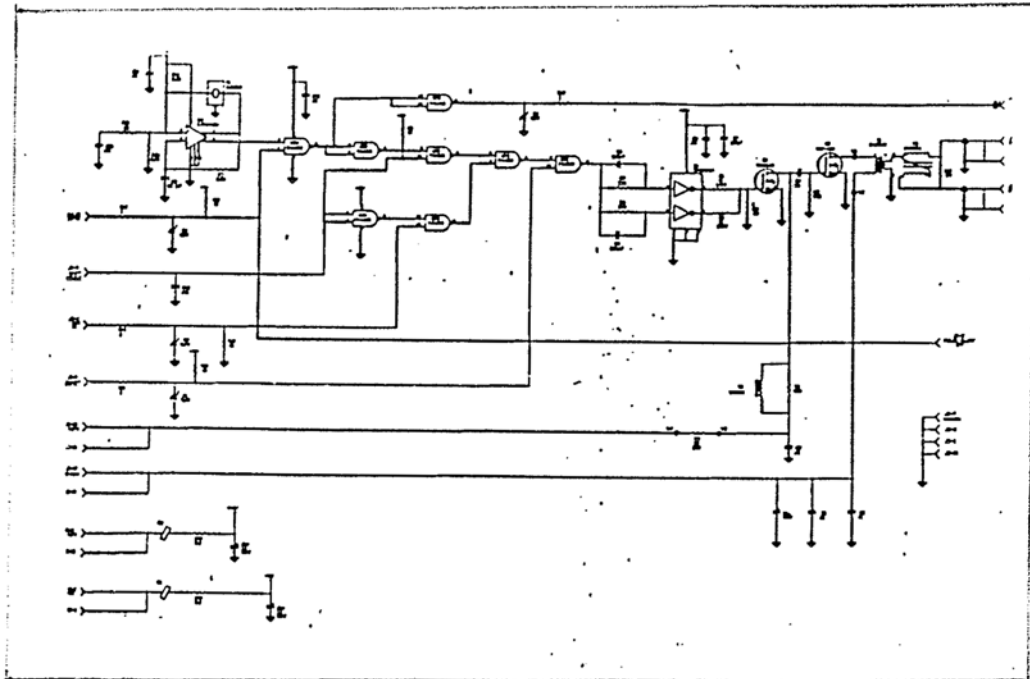


그림 2-4 발진회로

그림 2-5는 RF Generator의 Forward, Reverse 값을 Sensing하는 Directional Coupler로서 이것이 잘 설계되어있어야만 고신뢰의 RF Generator을 만들 수 있다.

300W급에서는 전류가 대략 3[A]이하가 흐르게 되는데 이를 감지하기 위해 두 개의 Core에 도선을 감아 Core 가운데로 RF출력선을 관통시키면 Core양단에서 전압을 얻을수있다.

이 전압을 RF 출력의 심선에서 C_1 을 거친 전압과 두 Core의 중심선을 연결한 점과 접지시키면 출력전압의 높거나 낮음에 비교적 영향을 적게 받으면서 회로의 (좌→우)로 흐르고 있는 전류값에 비례하는 Forward 값을, (우→좌)로 흐르고 있는 전류값에 비례하는 Reverse Power를 감지 할 수 있다. 이를 D1, D2로 반파정류한 후에 Control Board로 보낸다.

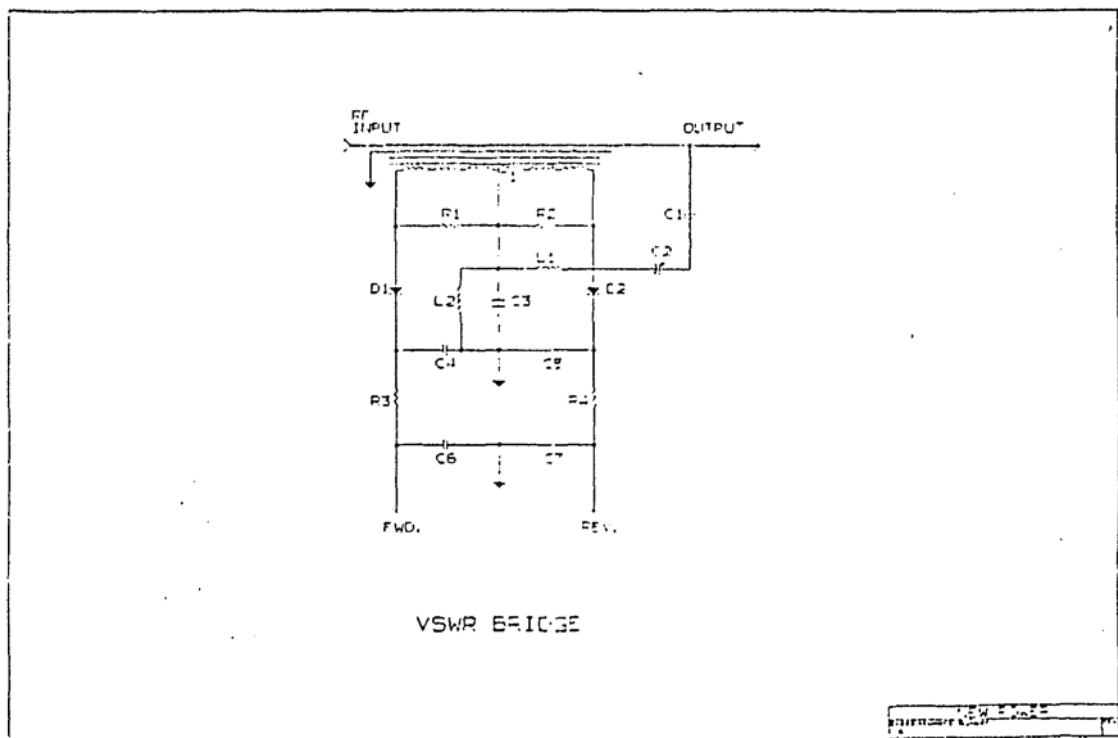


그림 2-5 Directional Coupler

그림 2-6은 정밀한 Forward, Reverse 값을 Sensing하여 HF Generator의 수명을 보호하는데 중요하기 때문에 설계가 다소 복잡하다.

그림 2-5에서 받은 입력을 일단 증폭하여 신호값을 높이고 $Q_1 \sim Q_2$ 를 통과하면서 Time Delay되는 성분이나, Noise에 대비하고 있으며 U_3 , U_1 을 통과하면서 대수적으로 Sensing되었던 값을 직선적으로 바꾼다. 이 값은 A/D Converter를 거쳐 LCD Module에 Display되고 만일 Reverse 값이 많이 발생하였을 때, 즉 부하단의 Matching이 잘 되어 있지 않을 때 계속해서 Power 값을 높이게 되면 Power FET가 손상될 염려가 있으므로 일정한 값 이상으로 출력되지 못하게 하는 Protect 기능을 하기 위한 값으로도 사용된다.

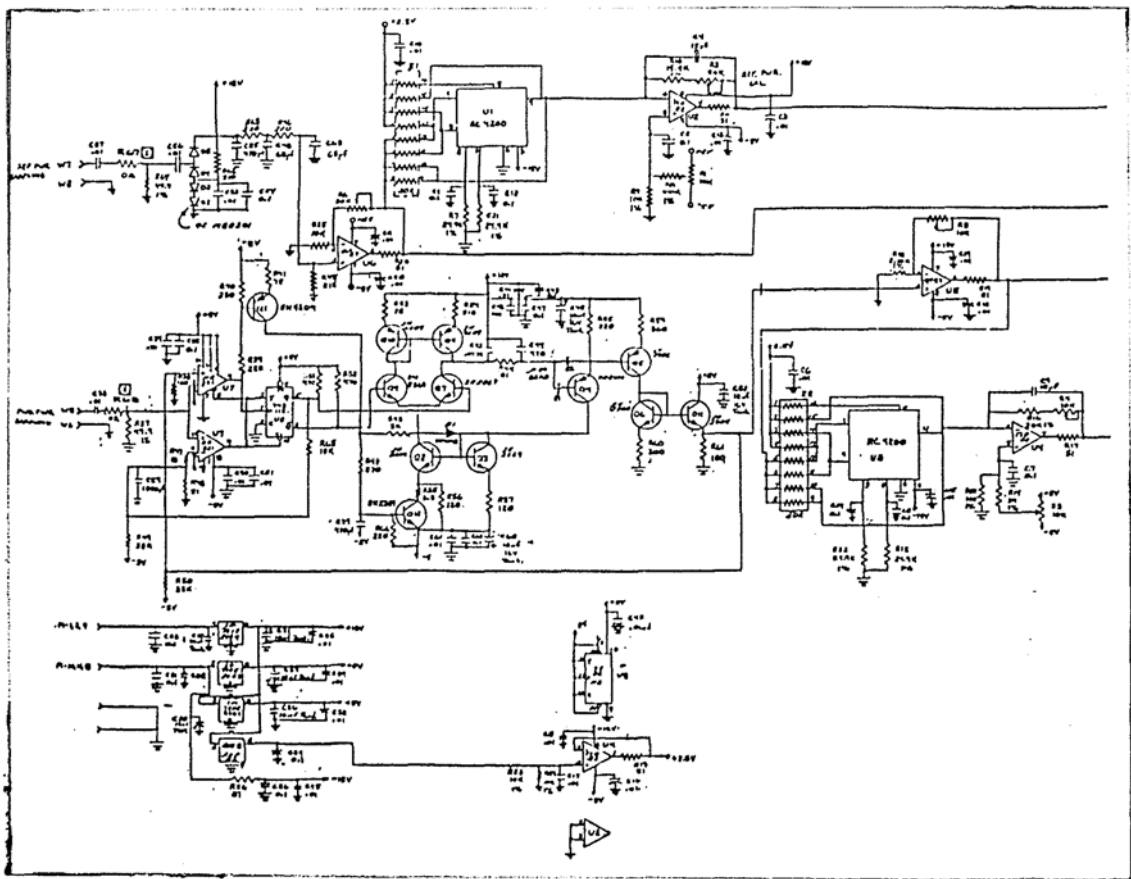


그림 2-6 제어회로

제 3 절. AUTO MATCHER

자동정합기는 각사마다 제조하고 있으며 특히 Chamber의 특성이나 모양에 맞게 장착되어야 하므로 보통 주문형으로 제작되고 있으며 종류도 아주 다양하기 때문에 본 연구에서 개발 제작한 것과 기본적인 개념을 설명한다.

그림 2-7에서 점선안에 있는 L, C₁, C₂ 등이 Matching Network를 구성하는 기본 소자들이고, 이를 어떤 값으로 변화하여 Chamber에 Plasma 방전을 일으킬 것인가를 Sensing 해내는 PC(Power Coupler)와 Sensing 값을 받아 계산하고 C₁ 과 C₂의 값을 변경하기 위해 직렬축에 설치되어 있는 M₁, M₂의 Motor의 구동 및 값을 Display하기 위한 CPU와 주변회로 및 LCD Module 등으로 구성되어 있다.

여기서 정합이 되는 기본 개념을 간단히 정리하면 R/F Generator는 기본적으로 $50 + j0 [\Omega]$ 의 출력 임피던스를 갖도록 설계되어 있다.

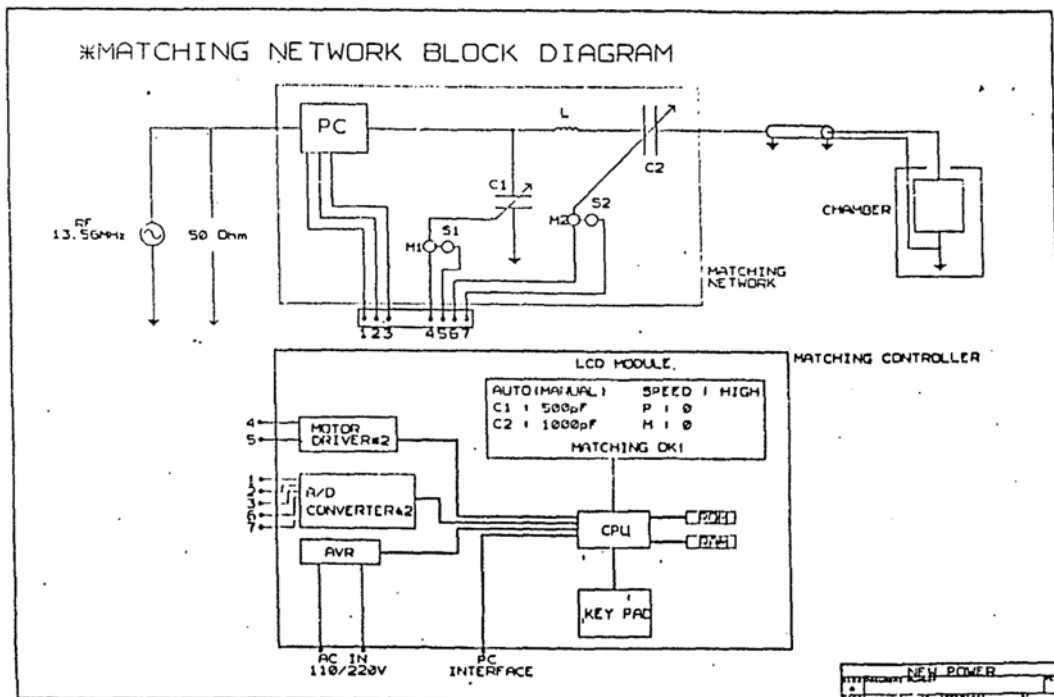


그림 2-7 정합회로 블록 다이어그램

따라서 정합회로를 포함한 Chamber의 모든 임피던스는 $50 + j0[\Omega]$ 을 갖도록 Loading C_1 값과 Tuning C_2 값을 조정하여 정합을 이루게 되면 완벽하게 Chamber 내에 Plasma 방전을 이룰 수 있다.

C_1 과 C_2 가 어떤 값을 가질 때 정합이 이루어지는가를 살펴보면 다음과 같다. RF 전원부에서 태브난의 정리를 활용하면

$$Z = [Z_1 + Z_2]^{-1}$$

$$\text{여기서 } Z_1 = -j / C_1, Z_2 = R + j X - j / C_2$$

$$\begin{aligned} \text{대입하면 } Z &= (R + j (X - 1 / C_2)) / (1 - C_1(X - j / C_2) + j R C_1) \\ &= \{ (R + j Q) (1 - C_1 Q - j R C_1) \} / \{ (1 - C_1 Q)^2 + R^2 C_1^2 \} \end{aligned}$$

$$\text{이 되며 여기서 } Q = X - (1 / C_2)$$

위 식을 허수 부분을 없애는 조건으로 식을 풀면

$$w C_1 \sim (R R_0)^{-1/2} \text{ -----①}$$

$$w C_2 \sim [X - (R R_0)^{1/2}]^{-1} \text{ -----②}$$

위 두식으로 압축된다. 여기서 R_0 는 $50 [\Omega]$ 이다.

결론적으로 ①과 ②에서 변수는 X 와 R 이다. 이것은 Matching Circuit의 등가식을 표현한 것이고 R_0 와 w 를 알기 때문에 R 과 X 값을 모르더라도 C_1 과 C_2 를 조정해서 정합 시킬 수 있다. 여기서 X 는 인덕터 $X_L = wL$ 를 말한다.

지금까지의 Matching Network 에는 Micom을 거의 쓰지않고 Aualog 식으로 Matching을 하였는데, 이경우 C_1 , C_2 값을 모르기 때문에 Chamber 내의 임피던스 값을 전혀 알수 없었으나 여기서는 LCD Module 상에 C_1 , C_2 값을 표시하게 되어있어 Chamber의 대략적인 임피던스를 알 수 있도록 하였다.

그림 2-8은 PC에서 Chamber에 Plasma의 방전을 발생하기 위해서 C_1 의 전압 절대 값과, C_2 , L로 연결되는 위상값을 필요한만큼으로 만들기 위한 것을 DC전압으로 Sensing하고, 이것을 Micom에서 M_1 , M_2 Motor에 전원을 보내기 위한 Motor Driver 용 Circuit이다. Jp1과 Jp2를 이용하여 Motor의 방향을 정,역으로 언제든지 변화시킬 수 있으며 Matching이 이루어진 다음에도 Chamber 내의 온도, Gas 종류, 압력 등에 따라 미세한 임피던스의 변화에도 즉시 정합되도록 설계되어있다.

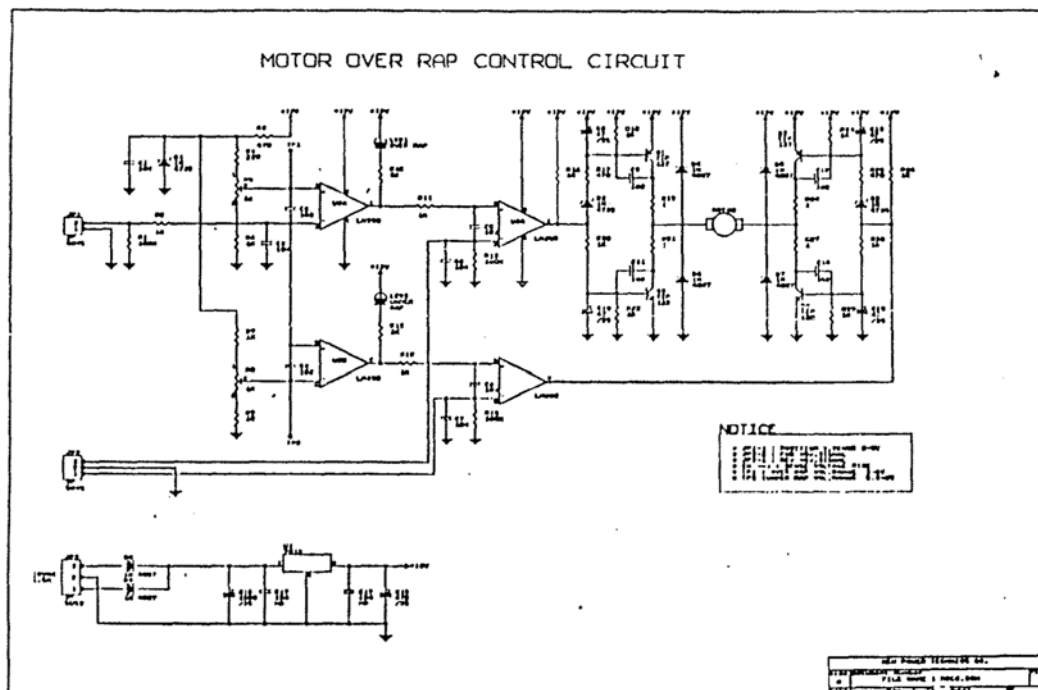


그림 2-8 모터 드라이브 제어회로

제 3 장 견품 분석 및 시작 평가

본 장에서는 기존 상용제품 (ENI사의 OEM-12)의 제특성과 1차 시작품의 측정 결과를 나타낸다.

제 1 절 견품분석

현재 반도체 제조 생산 Line에서 쓰이고 있는 미국 ENI사의 제품인 OEM-12를 구입하여 전기적 제특성을 분석하였다. 먼저 외관의 구조와 규격은 그림 3-1, 3-2 표 3-1과 같다.

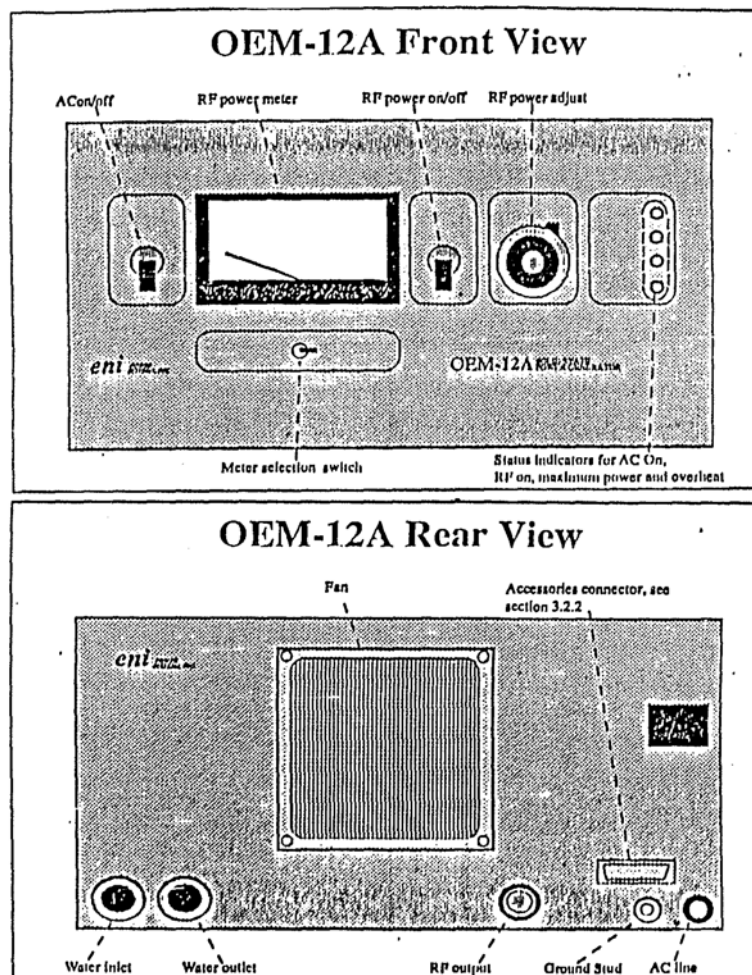


그림 3-1 ENI사 제품의 외관

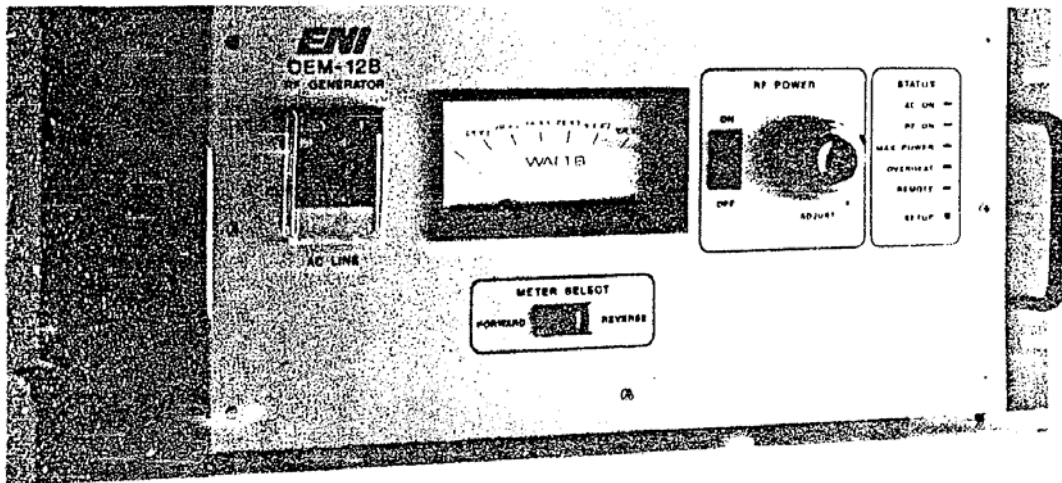


그림 3-2 ENI사 제품의 외관

구 분	사 양
입 력	단상 220[V]로 4단 TAP변화 (190V~240V)
출 력	1250[W] \pm 2%
부하 임피던스	50 [Ω]
반사전력	65W~650W 까지 가변
주파수	13.56 MHz \pm 0.005%
고조파	50 dB 이하
RF out Connector	"N" Type
Remote Control	Local / Remote 가능
Protect	Over Temp, Over Current, MAX Power
RF Output Cable	RG - 214
Display 방식	Analog Type, Forward와 Reverse 겸용
장비 크기, 무게	220 * 432 * 400 (H*W*D), 57kg
Cooling	수냉식

표 3-1 ENI사 제품의 사양

본 개발팀에서 자체 분석한 Dummy Load 부하일 때의 전압 파형과 그때의 고조파 스펙트럼을 그림 3-3, 3-4에 도시하였고 이때 300W를 기준으로 하였다.

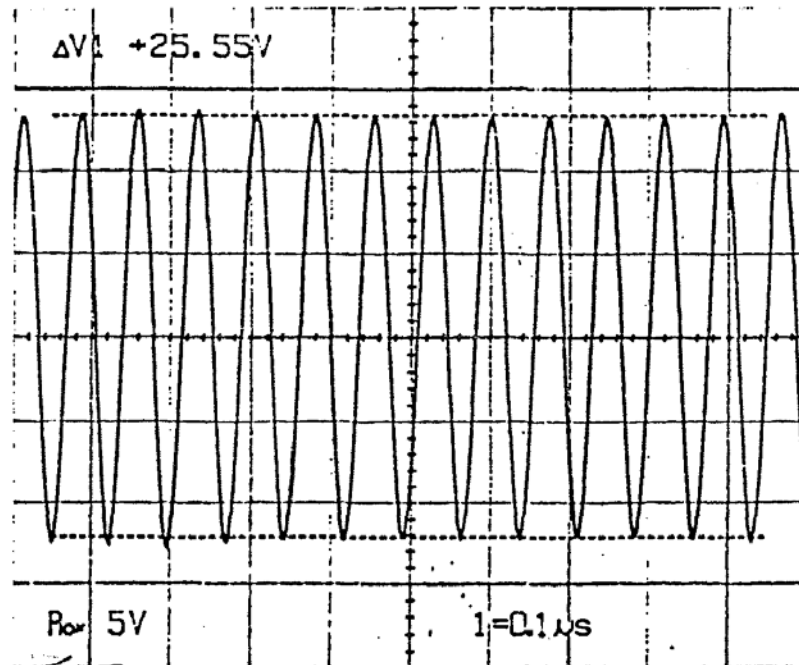


그림 3-3 전압 파형

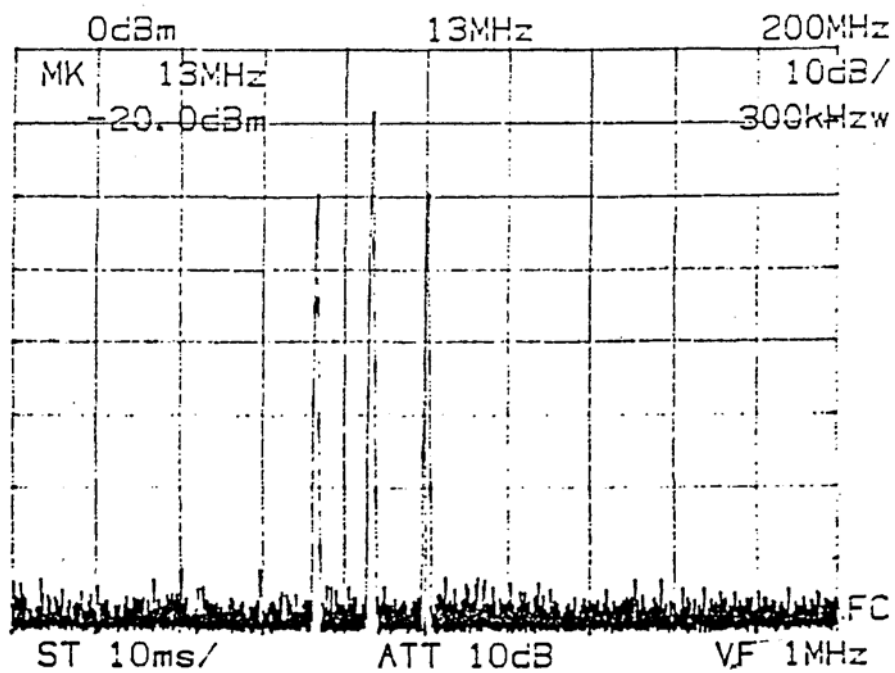


그림 3-4 고조파 스펙트럼

이상의 결과로부터 전기적, 구조적인 제특성은 ENI사 발표의 것과 대체로 통일하게 나타나고 있으며 전력효율 면에서 AC 입력대비 RF 출력이 약 60%정도 임을 알게 되었다.

제 2 절 시작평가

1. RF Generator의 구조와 전기적인 특징

반도체 제조회사에서 요구하는 경량화, Digital 방식에 맞추기 위해 Control 장치를 Micom 방식으로 설계하였으며 디자인도 Simple하게 하였다.

그림 3-5 (a)는 비교적 먼거리에서 볼 수 있도록 Forward, Reverse Power를 LED로 설계한 것이고 3-5(b)는 가까운거리에서 Power제어가 용이하도록 하며 LCD Module를 채용하였다.

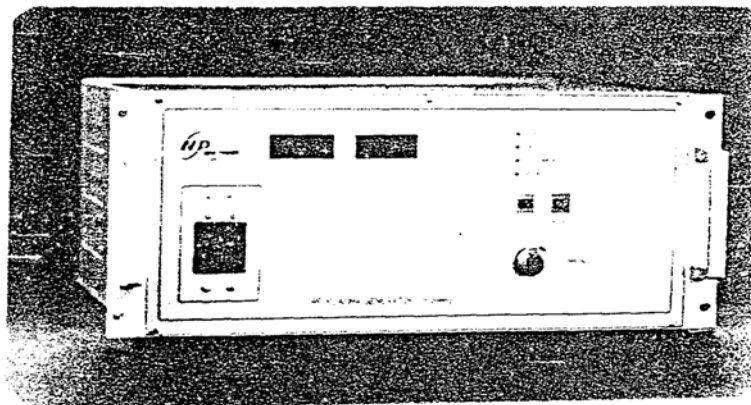


그림 3-5 (a) 시작품 외관

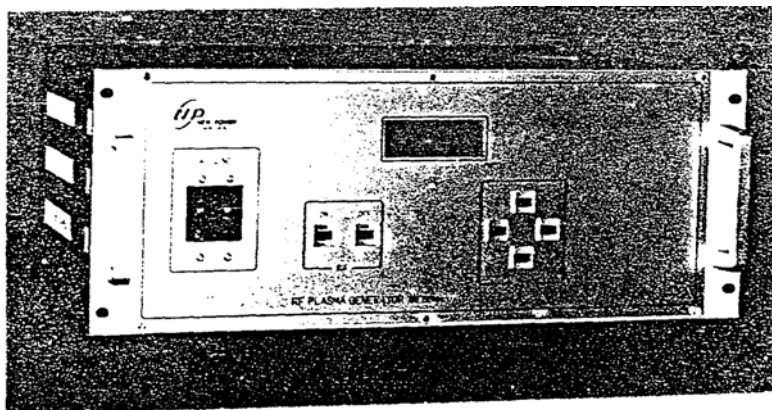


그림 3-5 (b) 시작품 외관

표 3-2는 본 RF Genenrator의 개발 사양을 표시한 것이다.

기존것과는 Control 방식, 무게, Display 전력효율 등에서 차이가 있고 나머지 부분은 대등하다.

구 분	사 양
입 력	단상 220[V] ± 10%
출 력	300[W] ± 1%
부하 임피던스	50 [Ω]
반사전력	MAX Power의 50%
주파수	13.56 MHz ± 0.005%
고조파	50dB 이하
RF out Connector	"N" Type
remote Control	Local / Remote (RS-232)가능
Protect	Over temp, Over Current, MAX Power
RF Output Cable	RG -214
Display 방식	Digital 방식
전력효율	85%
장비 크기, 무게	175 * 450 * 400 (H*W*D)
Cooling	수냉식

표 3-2 시작품 사양

그림 3-6은 RF Generator의 핵심부분인 Power FET가 장착되어 있고 전력을 결합시키는 Combine 부분을 보여주고 있으며 그림 3-7은 RF 출력을 내보낼 때 초기 충격을 줄이기 위한 Soft-Start되는 파형을 보인 것이다.



그림 3-6 Power Combiner 부조

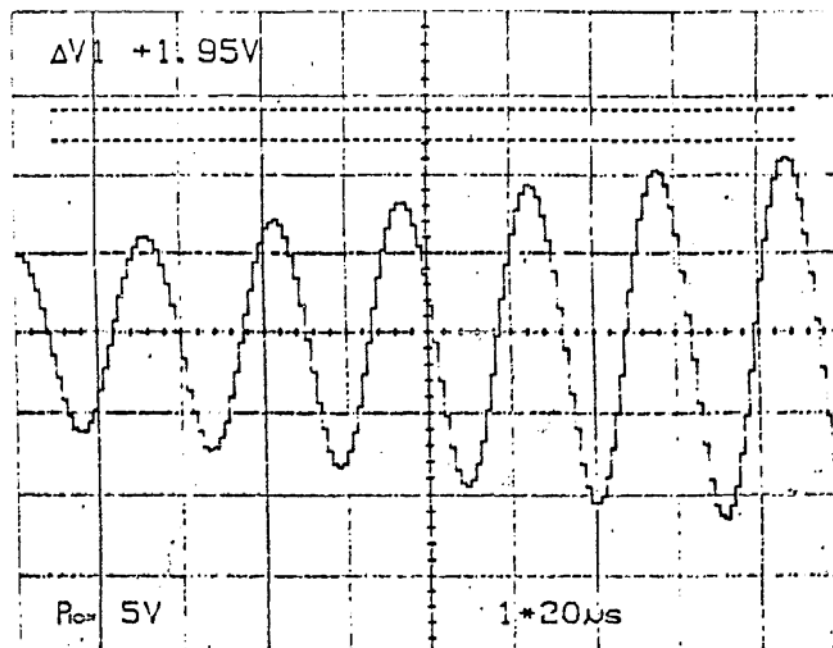


그림 3-7 Soft-Start 파형

그림 3-8은 RF 출력 값 300W이고 Dummy Load 부하일 때 전압 파형을 보여 주고 있으며, 그림 3-9는 13.56MHz일 때 고조파가 없음을 보여주는 스펙트럼이다.

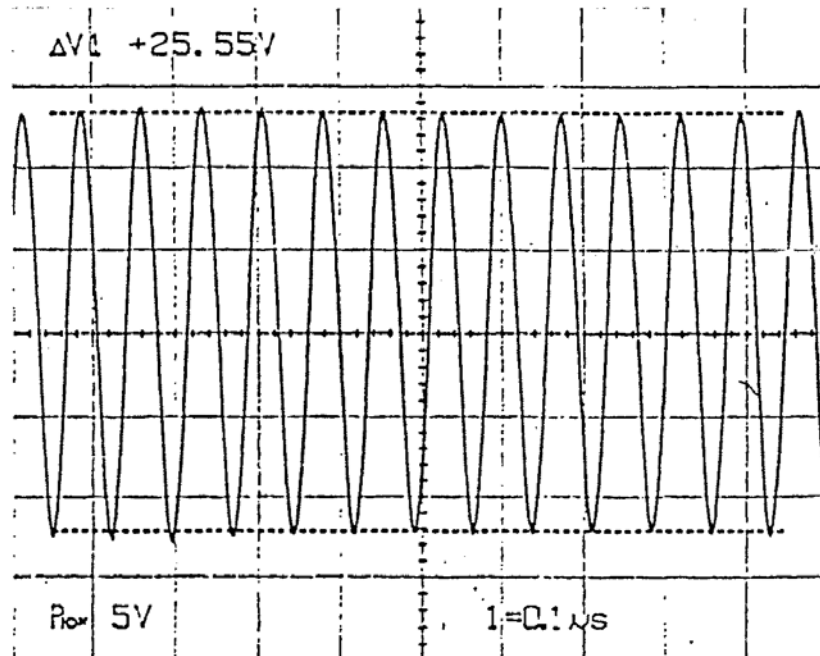


그림 3-8 전압파형

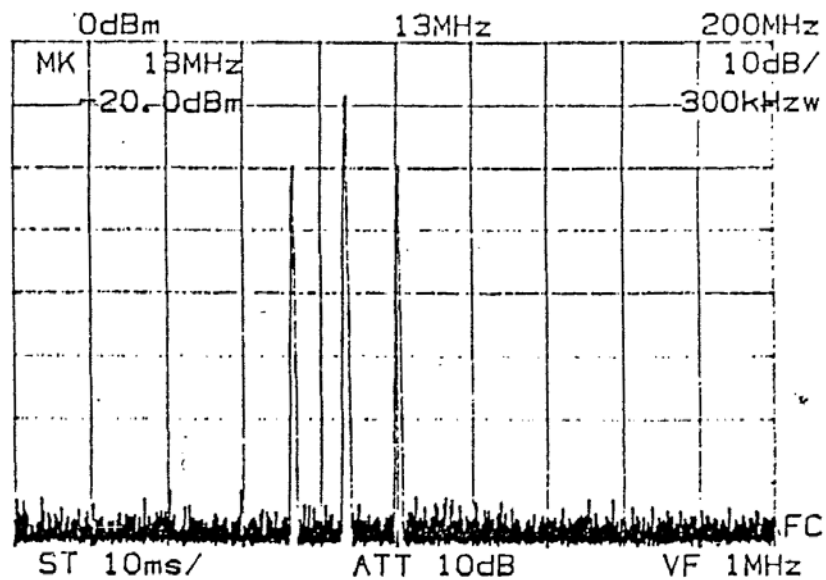
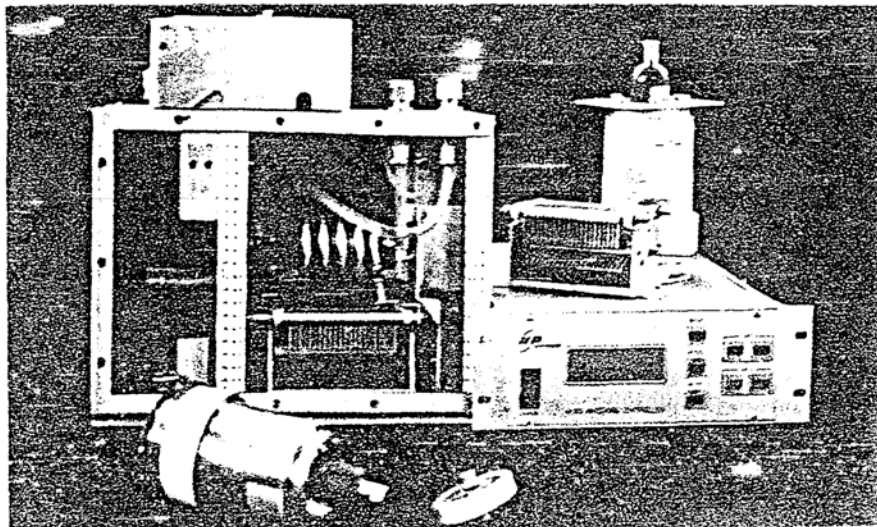


그림 3-9 고조파 스펙트럼

2. Auto Matcher의 구조와 전기적인 특징

Matcher는 RF Generator와 Chamber의 정합을 하기 위한 것이고 이때 고려되는 것이 RF상에서 Reverse Power가 “0”에 가깝게 하면서 Matching Time을 적게 할 수 있는 방향으로 연구가 되어야한다. 현재는 Chamber에 따라 약 3~17초까지 소요되고 있다.

그림 3-10(a)는 Matcher와 Controller과 구분되어 있는 것을 보여주고 있으며 C_1 , C_2 가 AVC로 이루어져 있으며 (b)는 C_1 , C_2 가 VVC로 이루어져있는 Matcher 이다.



(a) Matcher 와 Controller

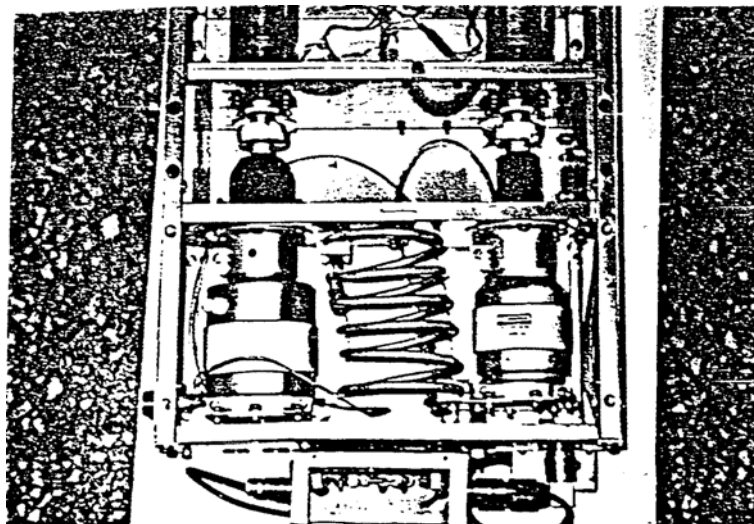


그림 3-10 (b) Matcher 와 Controller

그림 3-11은 주파수 변화에 따른 C_1 , C_2 , R , L 과의 상관 관계를 나타내고있으며 13.56MHz일 때 C_1 과 R 의 반비례관계와 C_2 와 L 이 반비례관계임을 알 수 있다.

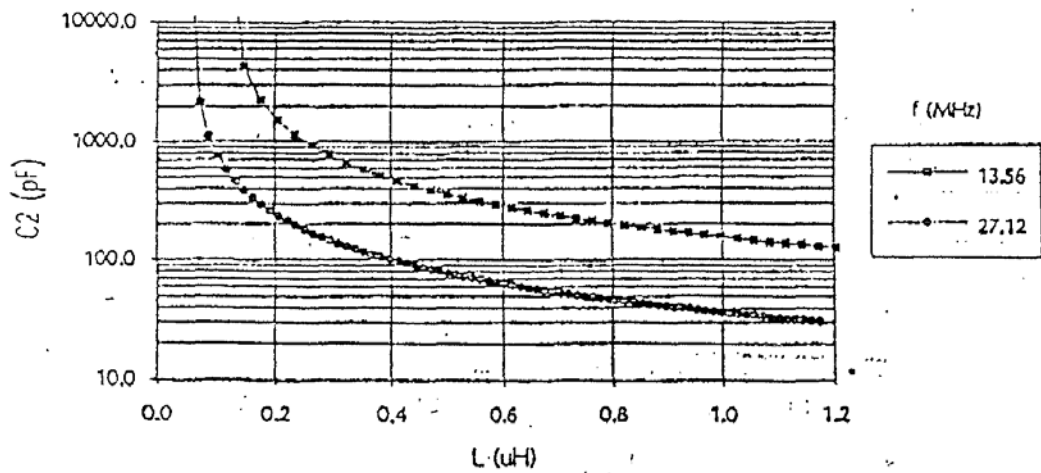
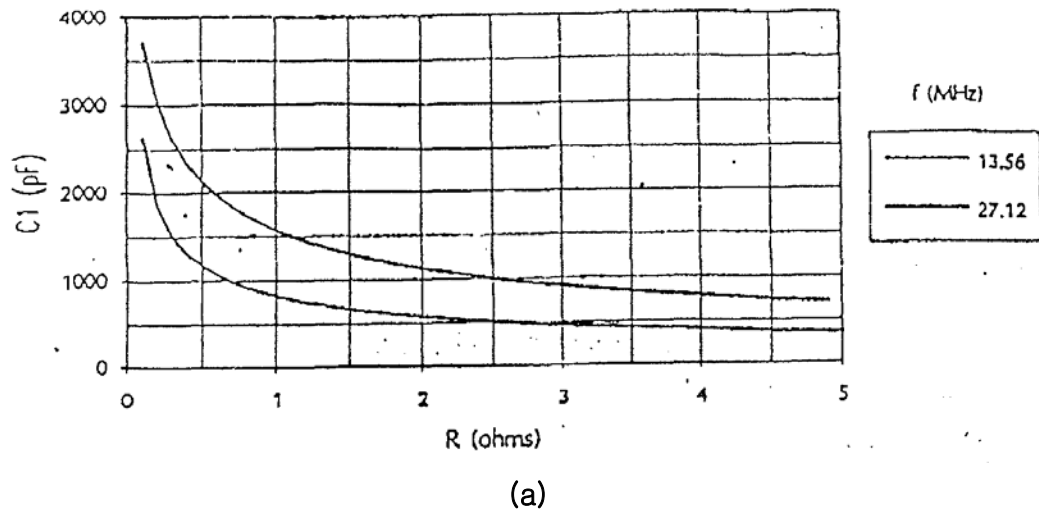


그림 3-11 (b) 주파수 변화에 따른 L , C 의 변화

제4장 검토 사항

제1차년도 사업을 수행한 결과 다음의 사항에 대한 문제점이 제기되었다. 이를 토대로 하여 제 2차년도에서 그 해결 방안을 모색하고, 나아가 과제목표의 성공적인 달성을 위한 요구사항을 집약해 본다.

1, 시제품 RF Generator에 있어 경량화를 하기 위해서는 필수적인 DC전원부 구성에서 SMPS 방식을 택하게 되었는데 현재는 300[W]급으로 제작하였으나 최종목표인 1000[W]급 이상으로 하기 위해서는 전력효율을 생각하여 전압 50[V], 전류 40[A] 정도의 SMPS가 필요하게 되며 이는 출력 FET의 병렬 설계를 필요하게 되므로 2차년도에서는 SMPS의 출력전류를 높일 수 있는 FET의 병렬운전 Control기법 연구에 역점을 두어야한다.

2, RF Generator의 고신뢰성을 추구하기 위해서는 Forward, Reverse Power를 정확하게 측정하고 Control 할수 있어야만 TEST중 가끔 발생되었던 RF Power FET가 손상되는 것을 막을 수 있다.

현재의 회로에 실험을 통하여 보다 정밀한 값으로 접근해 갈수 있도록 연구 되어야 한다.

3, SMPS의 출력값 증가와 함께 RF Generator의 출력값을 높이기 위해서는 Power AMP단 병렬설계와 전력값을 Combine 시킬 수 있는 연구가 진행되어야 한다.

4, 내구력을 높이기 위해 Power AMP, SMPS 단, 등의 Cooling 문제와 결로 현상 제거, Control 단의 Noise 방지 등에 보다 정밀한 설계가 되어야한다.

5, Auto Matcher 에서는 Sensing의 정밀도와 보다 빠른 Motor의 기용과 제어를 하여 Matching Time를 줄여 Chamber 내의 Plasma 방전을 보다 빠르게 안정화 시켜 Wafer에 가해지는 충격을 줄여야 한다.