

PENGUATKUASA VHF MENGGUNAKAN MOSFET KUASA

Oleh

Juniah Binti Abu Hasan

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

**Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian**

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRONIK)

Pusat Pengajian

Elektrik dan Elektronik

Universiti Sains Malaysia

ME1 2006

ABSTRAK

Kajian ini melibatkan rekabentuk penguatkuasa VHF secara simulasi menggunakan MOSFET Kuasa RF dengan menggunakan 2 jenis perisian iaitu Advanced Design System dan Z-Match. MOSFET Kuasa digunakan dalam alat komunikasi dari frekuensi 2 ke 400 MHz. Bagi tujuan rekabentuk penguatkuasa ini, frekuensi 300 MHz telah dipilih. Model transistor yang digunakan ialah MRF 136 keluaran Motorola. Transistor yang dipilih mestilah dipastikan kestabilannya supaya tidak berlakunya ayunan yang menyebabkan ia tidak berfungsi sebagai penguat. Melalui ujian kestabilan yang dijalankan, didapati transistor MRF 136 keluaran Motorola ini adalah stabil dan sesuai untuk rekabentuk penguatkuasa pada frekuensi 300 MHz. Kaedah yang digunakan untuk merekabentuk penguatkuasa ini ialah secara pemadanan konjugat. Pemadanan konjugat bertujuan untuk mendapatkan gandaan kuasa yang maksimum di keluaran penguatkuasa. Terdapat juga kaedah lain bagi merekabentuk penguatkuasa seperti Pemadanan Talian Beban dan Analisa Talian Beban. Walaubagaimanapun, hanya rekabentuk secara Pemadanan Konjugat sahaja dapat dilakukan.

ABSTRACT

These research involved the design of the VHF power amplifier by simulation using the RF Power MOSFET. Those design used two types of software such as Advanced Design System and Z-Match. RF Power MOSFET are used in communications equipment from 2 to 400 MHz with power level from 1 watt to over 100 watt. The frequency of 300 MHz had been chosen for the purpose of the power amplifier design. The transistor's model that had been used is MRF136 from Motorola. These transistor had been choosed to ensure the stability so that the oscillation will not occured that can cause malfunction to the power amplifier. Through the stability test that had been carried out, it showed that the transistor MRF136 from Motorola is stable and suitable for the power amplifier design at frequency of 300 MHz. The technique that had been used to design power amplifier was by using the Conjugate Matching. The purpose of conjugate matching is to get the maximum gain at the output. There are also another techniques to design power amplifier such as Load Line Matching and Load Line Analysis. However, only the conjugate matching technique had been carried out.

PENGHARGAAN

Pertamanya, syukur ke hadrat Ilahi kerana saya mampu menyelesaikan projek ini walaupun tidak sepenuhnya. Tanpa sokongan dan nasihat daripada pelbagai pihak, kemungkinan projek ini tidak dapat dijalankan.

Saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada Penyelia projek ini iaitu, Proffesor Syed Idris Syed Hassan yang memberikan sokongan, tunjuk ajar dan pelbagai alternatif untuk menyelesaikan masalah yang timbul sepanjang projek ini. Tidak dilupakan Dr. Mohd Fadzil b. Ain dan Cik Roslina yang memberi tunjuk ajar penggunaan perisian Advanced Design System.

Tidak dilupakan juga En.Abdul Latif b.Abdul Hamid dan En.Rozaidee b.Ishak yang banyak memberikan kerjasama ketika saya menggunakan Makmal RF dan Komunikasi ini.

Turut membantu sepanjang projek ini ialah Mr.Narendra Kumar daripada Motorola. Walaupun Model LDMOS yang dikenali sebagai RD01MUS1 dan RD01MVS1 daripada Motorola tidak dapat digunakan bagi menjalankan projek ini,kesudian beliau membantu amat dihargai. Di samping itu, saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Mr.Xu Qing daripada bahagian Technical Support EEsof EDA, Agilent Technologies yang sudi menjawab beberapa pertanyaan saya tentang perisian ADS yang digunakan ini.

Penghargaan yang istimewa ini juga ditujukan kepada kepada ibubapa saya En.Abu Hasan Abdul Malek dan Pn.Rosnani Awang yang sentiasa memberikan dorongan dan perhatian. Selain itu saya juga ingin mengucapkan terima kasih dan merakamkan penghargaan yang tak terhingga kepada adik-beradik saya serta kawan-kawan yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung terhadap projek ini.

ISI KANDUNGAN

KANDUNGAN

MUKASURAT

Abstrak	ii
Abstract	iii
Penghargaan	iv
Isi Kandungan	vi
Senarai Jadual	x
Senarai Rajah	xi
Senarai Singkatan	xii

BAB 1 PENGENALAN

1.0	Pengenalan	1
1.1	Kenyataan Masalah	2
1.2	Skop Kajian	3
1.3	Objektif Kajian	3
1.4	Sepintas Lalu Tentang Projek	4

BAB 2 KAJIAN ILMIAH

2.0	Pengenalan	6
2.1	Transistor	6
2.2	MOSFET Kuasa	8
2.3	Kelas-Kelas Penguatkuasa	

2.3.1	Kelas A	12
2.3.2	Kelas B	13
2.3.3	Kelas AB	14
2.3.4	Kelas C	15
2.3.5	Kelas D	16
2.3.6	Kelas E	17
2.3.7	Kelas F	17
2.4	Teori Penguatkuasa	
2.4.1	Kecekapan	18
2.4.2	Titik Mampatan 1- dB	19
2.4.3	Gandaan	20
2.4.4	Herotan Saling Modulan	21
2.4.5	Titik Pintasan	21
2.4.6	Hingar	22

BAB 3 PELAKSANAAN REKABENTUK

3.0	Pengenalan	23
3.1	Analisa DC	23
3.2	Pemincangan DC	24
3.3	Analisa Parameter-S	25
3.4	Kestabilan Transistor	
3.4.1	Faktor Kestabilan Rollet	28
3.4.2	Ujian Δ	29
3.4.3	Faktor B1f	29
3.4.4	Ujian μ	29

3.5	Pemadanan Galangan	30
3.6	Rekabentuk Penguat Gandaan Maksimum	
3.6.1	Rekabentuk Unilateral	31
3.6.2	Rekabentuk Bilateral	35
3.7	Perisian Yang Digunakan	
3.7.1	Z-Match	35
	3.7.1.1 Langkah-langkah pemadanan LC menggunakan Z-Match	36
3.7.2	Advanced Design System	43

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA DATA

4.1	Analisa DC	44
4.2	Ciri-Ciri IV	45
4.3	Simulasi parameter-S	45
4.4	Analisa Gandaan Boleh Sedia Maksimum(MAG) dan Frekuensi Maksimum berlakunya Ayunan(f_{max})	47
4.5	Kestabilan Transistor	47
4.6	Pemadanan	48
	4.6.1 Rekabentuk rangkaian pemadanan masukan dan keluaran	48
	4.6.2 Pemadanan LC	48
4.7	Pengoptimuman	50
4.8	Penalaan	52
4.9	Analisa Keseimbangan Harmonik Satu Nada Asas	53
4.10	Perbincangan	55

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Cadangan

RUJUKAN

KEPUTUSAN SIMULASI

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

LAMPIRAN E

LAMPIRAN F

LAMPIRAN G

LAMPIRAN H

LAMPIRAN I

MODEL SIMULASI

LAMPIRAN J

LAMPIRAN K

LAMPIRAN L

PENGIRAAN REKABENTUK UNILATERAL

LAMPIRAN M

RUMUS REKABENTUK BILATERAL

LAMPIRAN N

SENARAI JADUAL

Jadual 3.1	Nilai parameter-S yang diukur pada $f=300\text{MHz}$	34
Jadual 3.2:	Nilai-nilai gandaan yang membentuk Gandaan Transduser yang maksima	34
Jadual 3.3:	Nilai Had Ralat Negatif, Had Ralat Positif, $G_{THIGHdB}$, G_T dan Faktor-U	34
Jadual 4.1:	Titik operasi transistor	44
Jadual 4.2:	Ciri pindah MRF136	45
Jadual 4.3:	Nilai simulasi parameter-S dalam dB	46
Jadual 4.4:	Nilai simulasi parameter-S dalam magnitud dan sudut	46
Jadual 4.5 :	Perbandingan nilai simulasi parameter-S berbanding dengan helaian data simulasi parameter-S dalam magnitud dan sudut	46
Jadual 4.6 :	Faktor kestabilan transistor MRF136	48
Jadual 4.7 :	Nilai-nilai parameter-S yang digunakan untuk rekabentuk Unilateral	49
Jadual 4.8:	Nilai-nilai kapasitor dan induktor bagi rangkaian pepadanan	49
Jadual 4.9:	Nilai simulasi parameter-S selepas pepadanan LC dalam dB	50
Jadual 4.10:	Nilai simulasi parameter-S selepas pepadanan LC dalam magnitud dan sudut	50
Jadual 4.11:	Nilai simulasi dalam dB selepas pengoptimuman	51
Jadual 4.12:	Nilai-nilai L dan C selepas pengoptimuman	51
Jadual 4.13:	Nilai-nilai simulasi selepas penalaan	53
Jadual 4.14:	Analisa keseimbangan harmonik satu nada pada $V_{GS}=6.5$ dan $V_{DS}=28\text{ V}$	54

Jadual 4.15:	Analisa keseimbangan harmonik satu nada melibatkan peratus kecekapan.	55
Jadual 4.16 :	Peratus Kuasa Balikan bagi rangkaian pepadanan masukan dan keluaran	56

SENARAI RAJAH

Rajah 1.1 :	Kedudukan penguatkuasa dalam blok penghantaran	2
Rajah 2.1:	Jenis-jenis transistor	8
Rajah 2.2 :	Struktur MOSFET Kuasa saluran-N	9
Rajah 2.3 :	Elemen parasitik MOSFET Kuasa	10
Rajah 2.4 :	3 jenis MOSFET Kuasa	11
Rajah 2.5:	Graf Ciri Pindah Kelas A	13
Rajah 2.6:	Graf Ciri Pindah Kelas B	14
Rajah 2.7:	Graf Ciri Pindah Kelas C	16
Rajah 2.8 :	Titik Mampatan 1-dB	19
Rajah 2.9 :	Titik Pintasan	21
Rajah 3.1 :	Ciri-ciri ideal bagi masukan dan keluaran FET	24
Rajah 3.2 :	Parameter-S	26
Rajah 3.3 :	Tetingkap untuk menetapkan titik konjugat S_{11}	37
Rajah 3.4:	Paparan bagi memasukkan nilai magnitud dan sudut S_{11}	37
Rajah 3.5:	Paparan untuk membuka tettingkap parameter	38
Rajah 3.6:	Tetingkap frekuensi rekabentuk	38
Rajah 3.7 :	Paparan cara mendapatkan bulatan uniti	39

Rajah 3.8 :	Bulatan uniti yang terhasil	38
Rajah 3.9:	Tetingkap untuk menetapkan ZL	40
Rajah 3.10 :	Paparan titik ZL	40
Rajah 3.11:	Paparan titik X1	41
Rajah 3.12:	Nilai-nilai komponen L dan C	41
Rajah 3.13:	Carta Y	42
Rajah 3.14:	Paparan titik S1	42
Rajah 4.1 :	Paparan data proses penalaan	53

SENARAI SINGKATAN

ADS	Advanced Deisgn System
BJT	Transistor Simpang Dwipolar
DMOS	Serapan Separuh Pengalir Oksida Logam
D-MOSFET	Transistor Kesan Medan Separuh Pengalir Oksida Logam Mod Penyusutan
E-MOSFET	Transistor Kesan Medan Separuh Pengalir Oksida Logam Mod Peningkatan
FET	Transistor Kesan Medan
HEMT	Transistor Gerakan Elektron Tinggi
IGFET	Transistor Kesan Medan Get Tertebat
JFET	Transistor Kesan Medan Simpang
LDMOS	Serapan Lateral Separuh Pengalir Oksida Logam
MAG	Gandaan Boleh Sedia Maksimum

MESFET	Transistor Kesan Medan Logam-Separuh Pengalir
MOSFET	Transistor Kesan Medan Separuh Pengalir Oksida Logam
PAE	Kecekapan Kuasa Tertambah

BAB 1

PENGENALAN

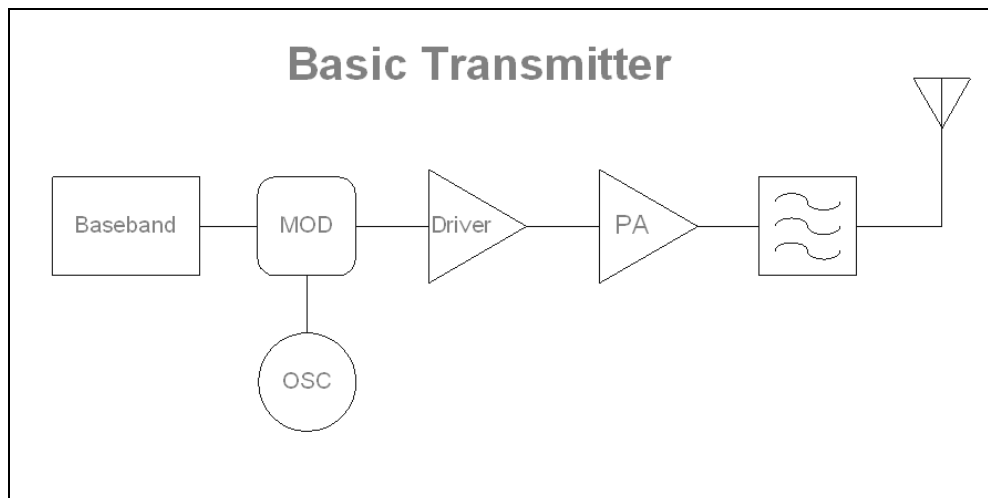
1.0 Pengenalan

Penguatkuasa merupakan satu elemen yang penting di dalam blok pemancar sistem komunikasi. Penguatkuasa terletak pada peringkat yang terakhir di dalam blok sesuatu pemancar. Kuasa keluaran daripada penguatkuasa mestilah mampu mengatasi kehilangan di saluran bagi membolehkan isyarat dapat dipancarkan daripada pemancar ke penerima. Penguatkuasa mampu menghasilkan kuasa keluaran tinggi, mempunyai gandaan yang baik serta kecekapan dan kelinearan yang tinggi.

Gandaan yang tinggi akan dapat mengurangkan bilangan peringkat penguat untuk menghantar kuasa keluaran yang dikehendaki ke pemancar. Pada masa yang sama ia dapat mengurangkan saiz rekabentuk pemancar dan menjimatkan kos pembuatan. Kecekapan yang tinggi pula dapat menentukan kestabilan termal sesuatu penguatkuasa seterusnya dapat menentukan jangka hayat bagi penguatkuasa tersebut. Walaubagaimanapun, terdapat pelbagai jenis kelas penguat yang mempunyai perbezaan daripada segi kuasa keluaran, kecekapan dan kelinearan.

Kebiasaannya 2 jenis transistor kuasa RF akan digunakan untuk merekabentuk penguatkuasa. Ia adalah Transistor Simpang Dwpolar dan Transistor Kesan Medan. Disebabkan kecanggihan teknologi, Transistor Simpang Dwpolar mempunyai kelebihan di dalam aplikasi tertentu dan pada masa yang sama peranti Transistor Kesan Medan mempunyai kelebihan di dalam aplikasi yang berlainan. Transistor Kesan Medan lebih banyak digunakan untuk merekabentuk penguatkuasa kerana

pemincangan peranti ini lebih mudah. Pemincangan litar yang menggunakan Transistor Kesan Medan lebih mudah disebabkan peranti adalah kawalan voltan di mana arus DC di Get bersamaan dengan Arus Bocor di Get.



Rajah 1.1 : Kedudukan penguatkuasa dalam blok penghantaran (Wilfredo Rivas-Torres,2004)

1.1 Kenyataan Masalah

Kajian ini secara keseluruhannya melibatkan rekabentuk penguatkuasa menggunakan *Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor* (LDMOS). Malangnya, model LDMOS yang dibekalkan oleh pihak Motorola iaitu RD01MUS1 dan RD01MVS1 menghadapi masalah dan tidak dapat digunakan bagi merekabentuk penguatkuasa. Model LDMOS terpaksa ditukar dengan MOSFET Kuasa RF mod peningkatan saluran- N iaitu MRF 136.

1.2 Skop Kajian

Secara umumnya, kajian ini menunjukkan proses rekabentuk penguatkuasa secara simulasi dengan menggunakan bantuan perisian seperti Advanced Design System dan Z-Match. Bagi merekabentuk penguatkuasa ini, model transistor yang digunakan ialah MOSFET Kuasa RF saluran-N. Model ini memang terdapat di dalam perisian Advanced Design System dan ia adalah keluaran Motorola. Secara umumnya, kajian ini melibatkan rekabentuk penguatkuasa kelas A. Penguatkuasa kelas ini mempunyai kelebihan berbanding penguat kelas yang lain kerana faktor kelinearannya yang sangat tinggi. Walaubagaimanapun, penguatkuasa kelas ini mempunyai kekurangan akibat kecekapannya yang sangat rendah. Kajian ini tertumpu dengan melakukan Analisa DC, simulasi parameter-S, mengkaji kestabilan transistor serta merekabentuk rangkaian pemadanan masukan dan keluaran. Bagi memastikan nilai parameter-S yang didapati selepas proses pemadanan mencapai matlamat, dua konsep rekabentuk penguatkuasa yang lain digunakan. Proses ini ialah pengoptimuman dan penalaan yang dijalankan dengan menggunakan enjin pengoptimuman dan enjin penalaan. Seterusnya analisa kesimbangan harmonik dijalankan bagi menentukan prestasi penguat daripada segi gandaan dan kecekapan.

1.3 Objektif Kajian

Objektif utama kajian adalah untuk merekabentuk penguatkuasa kelas A. Bagi merekabentuk penguatkuasa ini beberapa langkah perlu diikuti. Secara umumnya, kajian ini melibatkan untuk mengkaji dan memahami ciri-ciri I-V bagi sesuatu

transistor yang akan digunakan untuk merekabentuk penguatkuasa. Ciri-ciri I-V perlu dikaji untuk menentukan titik pincang di mana transistor boleh beroperasi sebagai penguatkuasa mengikut kelas-kelas tertentu. Melalui kajian ini, ciri-ciri peranti MOSFET Kuasa dapat dikaji dan difahami. Kajian terhadap kestabilan peranti MOSFET Kuasa juga dikaji bagi memastikan peranti yang digunakan adalah stabil dan sesuai digunakan untuk merekabentuk penguatkuasa. Kestabilan sesuatu transistor sangat penting untuk dicapai bagi mengelakkan penguatkuasa yang direkabentuk menghadapi ayunan.

1.4 Sepintas Lalu Tentang Projek

Laporan ini menerangkan tentang langkah-langkah yang dijalankan bagi merekabentuk penguatkuasa Kelas A. Penguatkuasa yang direkabentuk adalah menggunakan peranti MOSFET Kuasa RF, MRF 136 keluaran Motorola. Fenomena kestabilan peranti ini turut dikaji bagi menentukan kestabilan penguatkuasa yang direkabentuk. Beberapa langkah merekabentuk penguatkuasa seperti pemilihan jenis transistor, pemincangan transistor, analisa DC, pepadanan, pengoptimuman serta penalaan akan digunakan sepanjang projek ini. Selain itu prestasi penguatkuasa daripada segi kecekapan, gandaan dapat ditentukan.

Bab 2 menerangkan tentang pelbagai jenis transistor yang terdapat di dalam pasaran hari ini. Bab ini turut menerangkan serba sedikit tentang peranti MOSFET Kuasa. Selain itu kelas-kelas penguatkuasa turut diterangkan disertakan juga dengan teori-teori penguatkuasa. Teori penguatkuasa ini menerangkan tentang parameter-parameter yang terlibat dalam rekabentuk dan mempengaruhi prestasi penguatkuasa.

Bab 3 pula menerangkan tentang pelaksanaan rekabentuk penguatkuasa menggunakan model MRF 136 keluaran Motorola. Selain itu, spesifikasi perisian yang digunakan bagi tujuan rekabentuk turut diterangkan.

Bab 4 pula membincangkan keputusan simulasi yang didapati. Kaedah rekabentuk secara pemadanan konjugat diperkenalkan bagi menghasilkan penguat yang mempunyai gandaan kuasa yang maksimum.

Bab 5 merupakan kesimpulan yang dapat dibuat sepanjang menjalankan rekabentuk penguatkuasa secara simulasi ini. Perbincangan untuk meningkatkan prestasi penguatkuasa turut diterangkan di bahagian ini. Di dalam bab ini juga terdapat daripada Lampiran yang terdiri litar model simulasi, keputusan simulasi serta pengiraan yang terlibat sepanjang rekabentuk penguatkuasa dijalankan.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.0 Pengenalan

Bab ini menerangkan tentang jenis-jenis transistor dan peranti MOSFET Kuasa saluran-N mod peningkatan yang digunakan. Selain itu, kelas-kelas penguatkuasa turut diterangkan. Teori Penguatkuasa RF turut dibincangkan di bahagian ini.

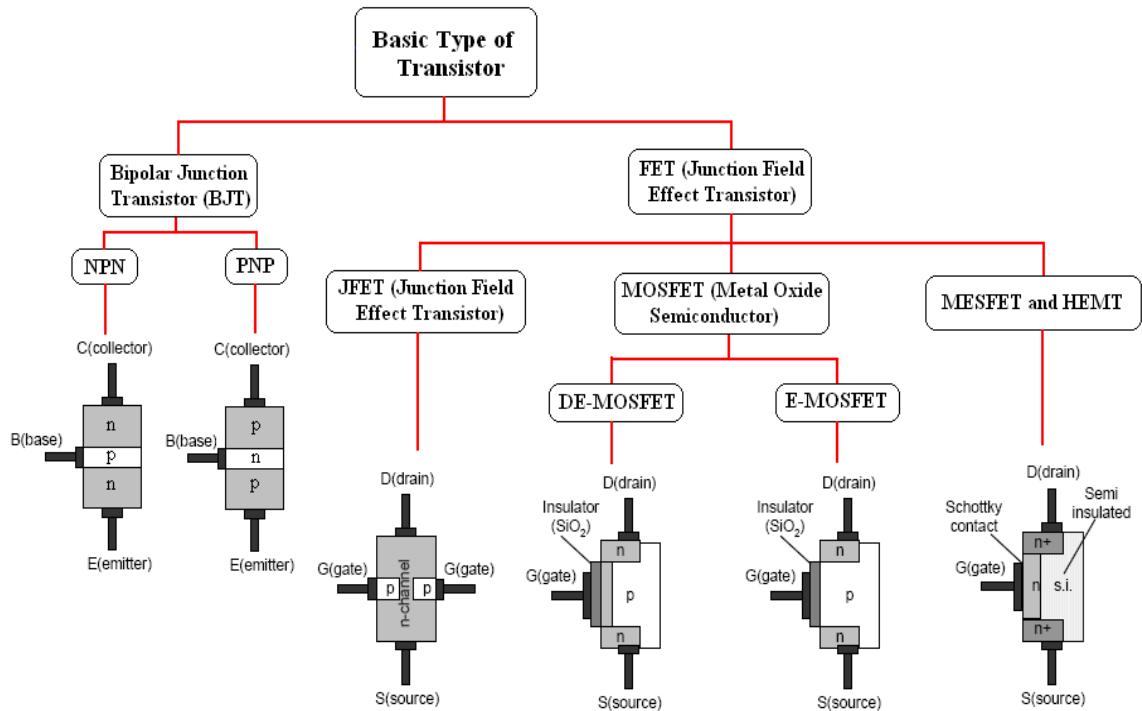
2.1 Transistor

Transistor mempunyai 2 jenis iaitu Transistor Simpang Dwipolar dan Transistor Kesan Medan. Transistor Simpang Dwipolar merupakan transistor terawal yang dicipta. Transistor Simpang Dwipolar menggunakan kedua-dua pembawa majoriti dan minoritinya sebagai arus elektrik di dalam saluran konduksinya. Pembawa majoriti ini terdiri daripada lubang dan elektron.

Terdapat dua jenis Transistor Simpang Dwipolar iaitu NPN dan PNP. Setiap transistor jenis ini mempunyai 3 terminal iaitu pemancar, pengumpul dan tapak. Terdapat dua simpang p-n yang wujud di dalam setiap jenis Transistor Simpang Dwipolar. Simpang-simpang yang wujud ialah simpang Tapak-Pengumpul dan simpang Pemancar-Tapak. Transistor ini dikenali sebagai peranti kawalan arus kerana arus tapak akan mengawal arus pengumpul (Thomas L.Floyd,1995).

Transistor Kesan Medan dikenali sebagai Transistor Unipolar. Transistor ini hanya boleh beroperasi dengan menggunakan satu pembawa cas sahaja samaada elektron ataupun lubang dan disebabkan itu ia dinamakan peranti Unipolar (Thomas L.Floyd,1995). Transistor ini mempunyai 3 terminal iaitu Salir, Get dan Sumber. Di dalam Transistor Kesan Medan sedikit voltan di Get akan mengawal arus yang mengalir di antara Sumber dan Salir. Disebabkan itu ia dikenali sebagai peranti kawalan voltan.

Transistor Kesan Medan dibahagikan kepada 3 kelas yang utama iaitu *Junction Field Effect Transistor (JFET)*, *Insulated Gate Field Effect Transistor (IGFET)* serta *High Electron Mobility Transistor (HEMT)* dan *Metal-Semiconductor Field Effect Transistor (MESFET)*. IGFET lebih dikenali *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)*. Bagi MOSFET, transistor ini dibahagikan kepada dua jenis iaitu DE-MOSFET dan E-MOSFET. DE-MOSFET beroperasi dalam mod susutan manakala E-MOSFET beroperasi dalam mod peningkatan. HEMT pula merupakan FET yang terdiri daripada simpang di antara 2 bahan yang mempunyai sela jalur yang berbeza. MESFET berbeza sedikit daripada JFET kerana ia menggunakan simpang p-n untuk Get yang dikenali sebagai simpang Schottky.



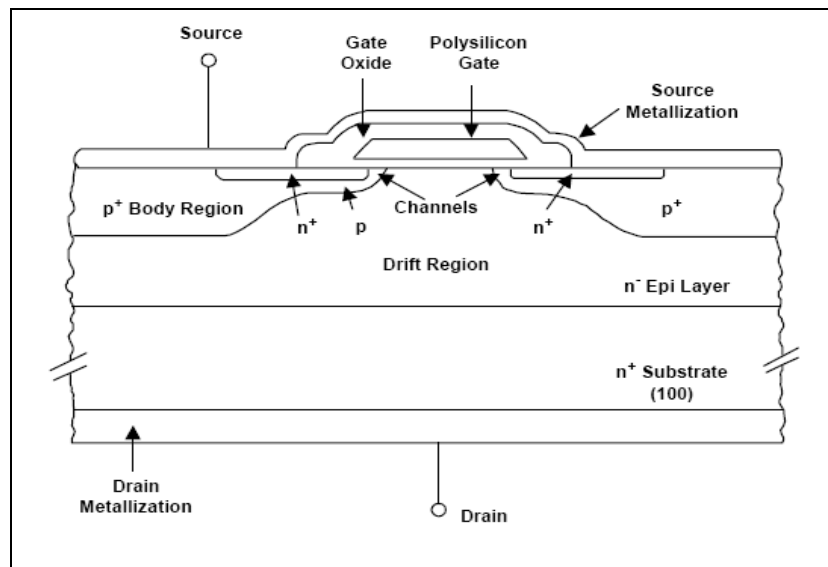
Rajah 2.1: Jenis-jenis transistor

2.2 MOSFET Kuasa

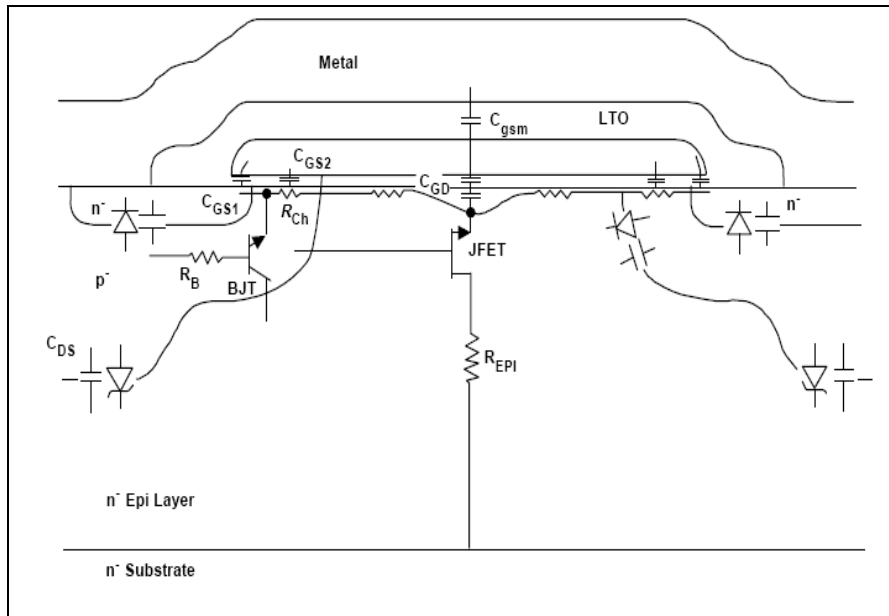
MOSFET Kuasa telah diperkenalkan sejak tahun 1970. Kewujudan MOSFET Kuasa adalah untuk mengatasi pelbagai kekurangan yang di alami Transistor Dwpolar yang telah wujud sejak tahun 1950. MOSFET Kuasa merupakan peranti yang terdiri daripada pembawa majoriti sahaja tanpa disuntik dengan pembawa minoriti. Ia mempunyai mempunyai kelebihan berbanding BJT kerana kesesuaiannya dalam aplikasi frekuensi yang tinggi. Selain itu, MOSFET Kuasa juga sesuai digunakan bagi aplikasi yang menggunakan voltan dan arus yang tinggi tanpa mengalami kerosakan disebabkan Voltan Pecah Tebat yang kedua.

Struktur MOSFET Kuasa dikenali juga sebagai DMOS. Rajah 2.2 di bawah menunjukkan struktur MOSFET Kuasa, manakala Rajah 2.3 menunjukkan kedudukan

elemen parasitik di dalam MOSFET Kuasa saluran-N. MOSFET Kuasa saluran N difabrikasikan menggunakan substrat N⁺ dengan salir pelogaman terletak di bahagian bawah sekali. Lapisan N⁻ epi terletak di atas lapisan substrat N⁺. Lapisan N⁻ epi ini sangat tebal dan kerintangannya bergantung kepada Voltan Pecah Tebat Salir-Sumber. Struktur saluran dibentuk daripada penyuntikan secara dua kali ganda terhadap permukaan bahan epi dan ia akan membentuk corak selular seperti beribu-ribu sel yang akan membentuk satu transistor.



Rajah 2.2 : Struktur MOSFET Kuasa saluran-N (www.irf.com/technical-info/appnotes/mosfet.pdf)



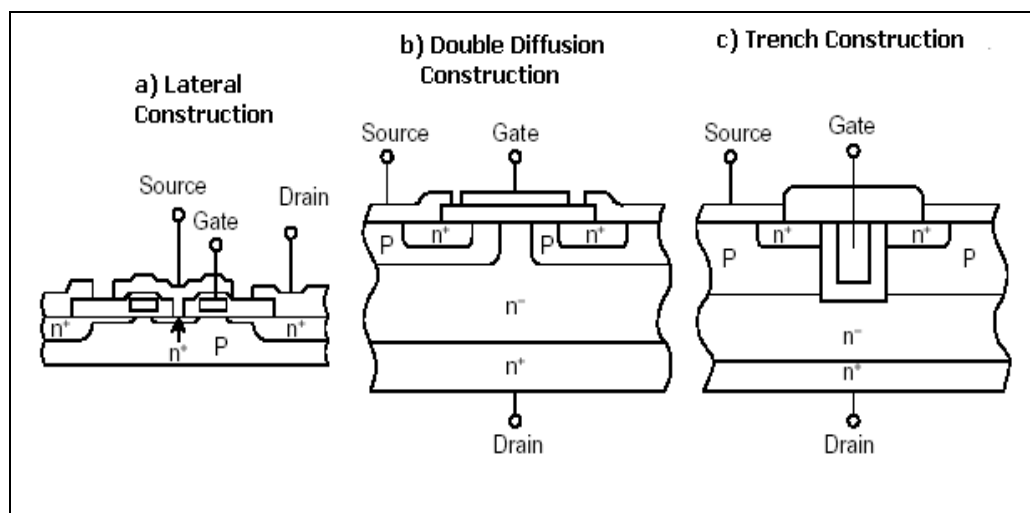
Rajah 2.3 : Elemen parasitik MOSFET Kuasa (www.irf.com/technical-info/appnotes/mosfet.pdf)

MOSFET Kuasa boleh diklasifikasikan kepada 3 jenis. Rajah 2.4 menunjukkan struktur binaan MOSFET Kuasa. Rajah 2.4 (a) menunjukkan struktur binaan yang mempunyai sambungan di antara MOSFET isyarat kecil dengan Voltan Pecah Tebat yang tinggi di mana ia menggunakan teknologi simpang ion dan pembinaan offset get. Rajah 2.4 (b) pula memaparkan kaedah yang dikenali sebagai *Double Diffusion MOS* (D-MOS) yang terdiri daripada penyerapan dua kali ganda bagi membentuk saluran. Melalui kaedah ini Voltan Pecah Tebat yang tinggi boleh ditentukan.

Struktur D-MOS menggunakan penyerapan dua kali ganda terhadap substrat Salir yang mempunyai kerintangan tinggi. Perbezaan kedalaman penyerapan di antara Get dan Salir digunakan sebagai saluran. Lebih banyak bendasing yang terdapat di bahagian Salir sekiranya simpang Get-Salir terhasil menggunakan cara ini. Apabila

Voltan Salir dikenakan, kawasan penyusutan akan dipanjangkan ke bahagian Salir tetapi untuk memanjangkan ke saluran tidaklah semudah yang disangka.

Kejatuhan Voltan Pecah Tebat disebabkan tebuk-tembus harus dihalang dan struktur ini berkemungkinan menghasilkan Voltan Pecah Tebat yang tinggi dengan saluran yang sangat kecil. D-MOS akan menggunakan elektrod Salir daripada permukaan belakang substrat untuk mencapai intergriti yang tinggi dan kuasa yang tinggi. Sebagai tambahan, sambungan secara kaskad di antara MOSFET Kuasa dan JFET akan memungkinkan kapasitan pindah MOSFET Kuasa dapat dikurangkan. Melalui struktur binaan D-MOS, Voltan Pecah Tebat dan arus yang tinggi mudah diperolehi. Rajah 2.4 (c) pula menunjukkan struktur binaan *trench* bagi MOSFET Kuasa.



Rajah 2.4 : 3 jenis struktur MOSFET Kuasa

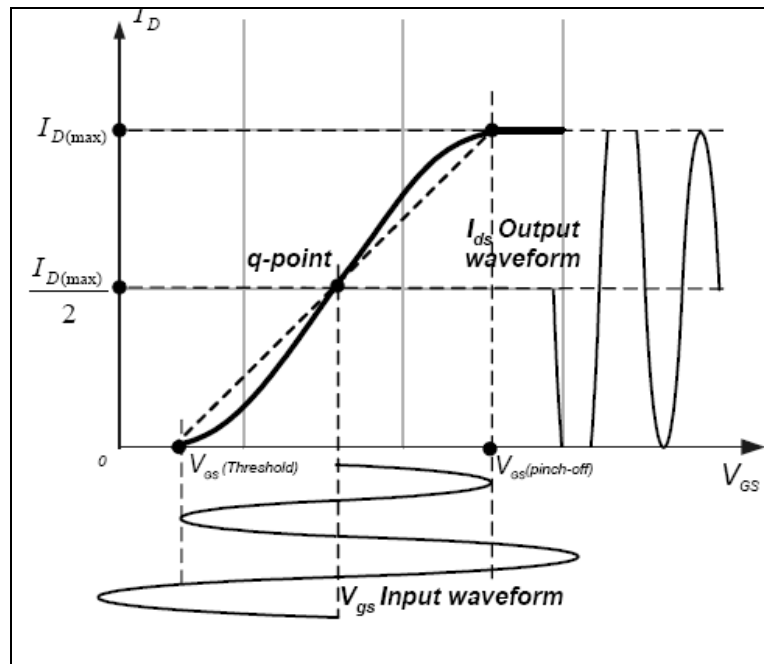
(www.semicon.toshiba.co.jp/eng/prd/tr/doc/pdf/bde0034a_3.pdf)

2.3 Kelas-kelas Penguatkuasa

2.3.1 Kelas A

Penguatkuasa kelas A menguatkan kuasa dengan kelinearan yang sangat tinggi dan mengalami hanya sedikit herotan. Walaupun kaedah yang sama digunakan untuk memincangkan penguatkuasa Kelas A dengan penguat isyarat kecil, terdapat sedikit perbezaan di mana dapat dilihat bahawa rangkaian keluaran penguatkuasa Kelas A akan dioptimumkan bagi membenarkan voltan dan arus yang tinggi berada dalam keadaan segerak dapat berayun di keluaran peranti ini (Rowan Gilmore,2003;Les Besser,2003). Bagi operasi kelas A sudut pengaliran adalah 2π radian atau 360 darjah. Sudut pengaliran merujuk kepada tempoh masa di mana peranti boleh beroperasi. Sudut pengaliran sebanyak 360 darjah menunjukkan bahawa arus akan mengalir mengikut keseluruhan ayunan masukan.

Kelas A dianggap sangat linear kerana ia dipincangkan pada titik tengah garis beban. Pemincangan sebegini dapat membenarkan voltan dan arus yang maksima berayun. Di antara kekurangan penguatkuasa kelas A ialah kecekapannya yang sangat rendah. Ini kerana peranti akan sentiasa mengalirkan arus pada setiap masa dan akan menyebabkan kehilangan kuasa yang sangat tinggi. Secara teori, kecekapan kelas A hanya 50% sahaja. Walaubagaimanapun, secara praktiknya kecekapan kelas A sangat rendah sehingga mencapai 20% sahaja. Kesannya, penguatkuasa kelas A hanya digunakan untuk rekabentuk penguatkuasa yang mementingkan kelinearan sebagai faktor utama sahaja.

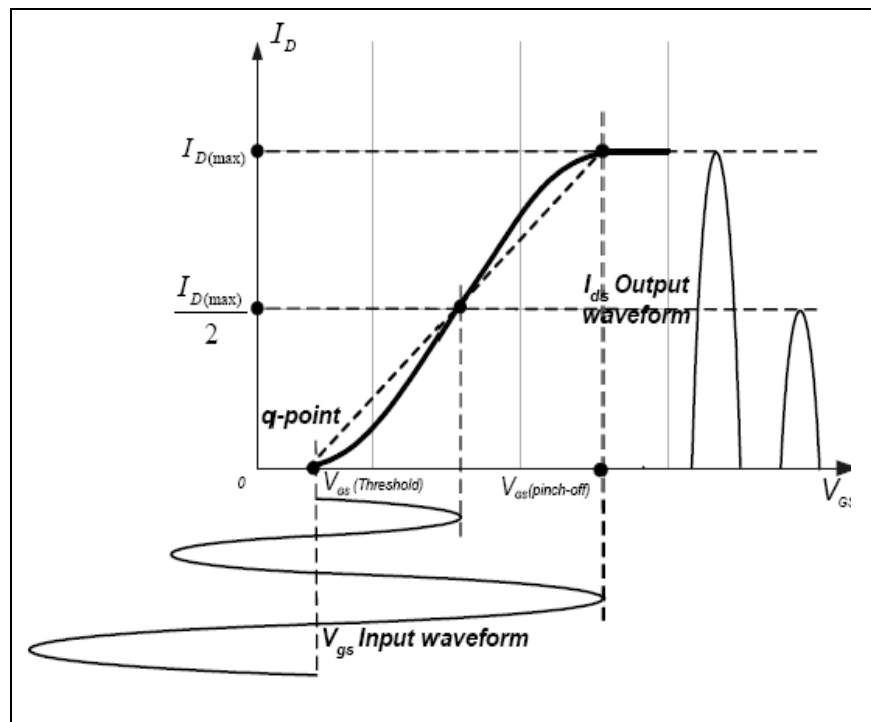


Rajah 2.5: Graf Ciri Pindah Kelas A (Grigori Doudorov,2003)

2.3.2 Kelas B

Transistor bagi kelas penguatkuasa B akan mengalirkan separuh daripada gelombang masukan sinusoidal. Oleh itu sudut pengaliran adalah 180 darjah. Kebiasaannya susunan transistor secara tolak-tarik (*push-pull*) akan digunakan untuk merekabentuk penguatkuasa kelas B. Melalui teknik susunan ini, ayunan positif akan berselang seli dengan ayunan positif bagi membolehkan masukannya dapat mengalir secara serentak. Kelas B adalah lebih efisien berbanding kelas A. Ini adalah kerana arus masukan hanya mengalir bagi satu kawasan separa ayunan sinusoidal sahaja pada satu masa. Walaupun Kelas B adalah efisien, tetapi isyaratnya amat mudah mengalami herotan berbanding dengan kelas A. Titik operasi kelas B dipilih pada

Voltan Ambang supaya mencapai kecekapan kuasa bersamaan atau berkurang daripada 78%. Berdasarkan gambarajah di bawah, ciri kelinearannya berubah dengan mendadak disebabkan faktor sudut pengaliran yang meningkat.



Rajah 2.6: Graf Ciri Pindah Kelas B (Grigori Doudorov,2003)

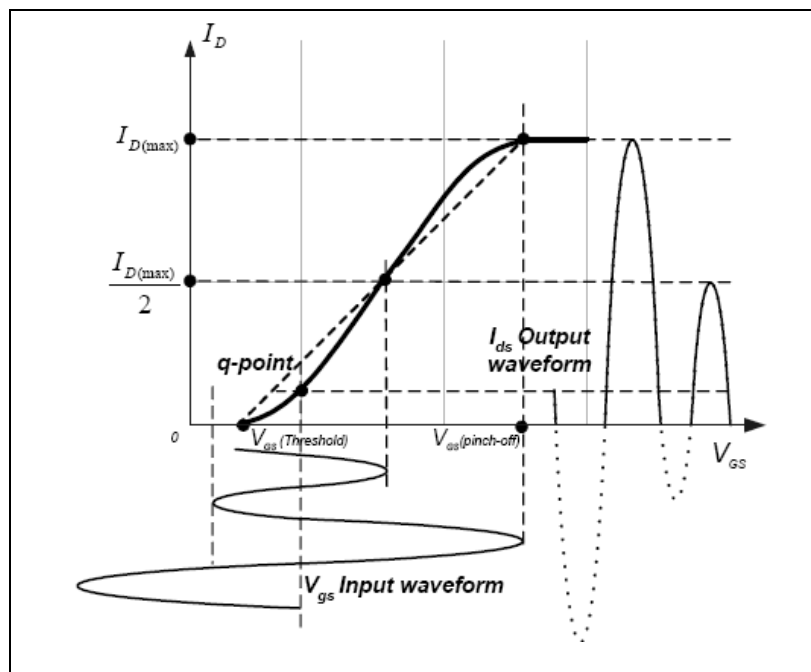
2.3.3 Kelas AB

Kebanyakan penguatkuasa gelombang mikro beroperasi di antara kelas A yang mempunyai kelinearan yang tinggi dan kelas B yang mempunyai kecekapan yang lebih tinggi daripada kelas A. Maka, kelas penguatkuasa sebegini dikenali sebagai kelas B di mana keluaran penguat kelas AB dapat mengalirkan 180 darjah tetapi tidak melebihi 360 darjah gelombang masukan sinusoidal. Bagi mencapai tujuan ini, sudut pengaliran dipilih berhampiran dengan Voltan Ambang.

2.3.4 Kelas C

Kelas C merujuk kepada penguatkuasa yang tidak linear. Ia digunakan di dalam rekabentuk penguatkuasa yang mementingkan kecekapan berbanding faktor kelinearan. Bagi operasi kelas C, transistor memincang di bawah voltan ambang. Sudut pengaliran bagi peranti ini berubah daripada 0 darjah sehingga 180 darjah. Apabila isyarat voltan dikenakan pada masukan, transistor hanya akan beroperasi bagi tempoh masa di mana isyarat masukan adalah lebih besar daripada voltan ambang. Pada masa yang lain, transistor berada di dalam keadaan tidak beroperasi. Disebabkan hanya kawasan positif bagi isyarat masukan yang menyebabkan transistor beroperasi di dalam kawasan penguatan, arus keluaran akan menjadi perwakilan gelombang masukan. Disebabkan gelombang keluaran arus ini, voltan masukan adalah berkait secara tidak linear terhadap gelombang keluaran. Kesannya, amplitud keluaran penguatkuasa akan mengalami herotan yang sangat tinggi.

Kecekapan penguatkuasa kelas C ini bergantung kepada sudut pengaliran. Kecekapan adalah semakin tinggi sekiranya sudut pengaliran berkurang. Secara teori kecekapan penguatkuasa kelas C adalah 100%. Tetapi nilai ini adalah mustahil untuk dicapai. Kecekapan 100% bermakna sudut pengaliran adalah 0 darjah. Tanpa sudut pengaliran bermakna tiada isyarat yang dikenakan di masukan dan keadaan sebegini tidak akan diberi tumpuan untuk tujuan kajian. Kecekapan penguatkuasa kelas C adalah bersamaan 60% ataupun lebih daripada itu.



Rajah 2.7:Graf Ciri Pindah Kelas C (Grigori Doudorov,2003)

2.3.5 Kelas D

Kelas D merupakan penguatkuasa yang peranti kuasanya beroperasi dalam dua mod sahaja iaitu keadaan buka dan tutup. Penguat kelas D menggunakan Pemodulatan Lebar Denyut, Pemodulatan Frekuensi atau pun kedua-duanya sekali. Isyarat masukan akan ditukar ke jujukan gelombang yang mempunyai purata nilai mengikut amplitud isyarat pada masa tersebut. Frekuensi bagi denyut ini adalah bernilai 10 atau lebih daripada frekuensi tertinggi isyarat masukan. Keluaran penguat ini mengandungi komponen spektral seperti frekuensi denyut beserta harmoniknya sekali. Komponen-komponen spektral ini akan dibuang dengan menggunakan penapis pasif. Keluaran daripada penapis pasif ini merupakan gambaran isyarat yang akan dikuatkan. Penguat kelas D mempunyai kelebihan dari segi kecekapan kuasa. Disebabkan denyut keluaran mempunyai amplitud yang tetap, elemen pensuisan seperti MOSFET dapat digunakan

untuk mewujudkan keadaan buka dan tutup dan tidak beroperasi dalam mod linear. Ini bermakna hanya sedikit kuasa yang akan dilesapkan oleh transistor sepanjang selang keadaan di antara buka dan tutup. Kecekapan penguat kelas D adalah sekitar 80% hingga 90% (http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_amplifier).

2.3.6 Kelas E

Secara umumnya penguatkuasa kelas E seperti juga kelas C yang lebih menumpukan kepada keadaan suis buka dan tutup. Kelas ini juga akan menerangkan tempoh masa di mana transistor akan mula beroperasi dan mula berhenti beroperasi. Bagi penguatkuasa kelas E, voltan merentasi suis mestilah kembali semula ke keadaan sifar sebelum suis beroperasi semula iaitu suis dalam keadaan tutup dan mula untuk mengalirkan arus. Konsep yang sama digunakan apabila arus merentasi suis mestilah kembali semula ke sifar sebelum suis dibuka. Dua konsep keadaan yang diterangkan di atas akan mengelakkan pelepasan tenaga yang disebabkan oleh proses superposisi yang serentak berlaku di antara voltan dan arus yang merentasi suis semasa pertukaran keadaan daripada buka ke tutup dan daripada tutup ke buka semula. Nilai teori kecekapan penguatkuasa ini ialah 100%. Walaubagaimanapun amat sukar mencapai kecekapan 100% dan nilai kecekapan yang biasa didapati adalah sekitar 60% sahaja (http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_amplifier).

2.3.7 Kelas F

Kelas F adalah penguatkuasa yang mempunyai kecekapan yang tinggi sehingga mencapai 80 % dan lebih daripada itu. Kecekapan yang tinggi diperolehi

dengan menggunakan kaedah memerangkap harmonik samaada menggunakan penapis L-C ataupun secara talian penghantaran suku panjang gelombang. Kaedah ini dapat digunakan bagi menghasilkan harmonik dengan penamatan yang sesuai samaada secara litar buka ataupun litar yang dipintaskan. Kesannya, gelombang segiempat daripada Voltan Salir dan separuh daripada puncak gelombang sinus Arus Salir akan melewati fasa 180 darjah dapat dihasilkan. Disebabkan hanya Voltan Salir dan Arus Salir yang wujud pada masa tertentu sahaja, pelepasan kuasa secara idealnya adalah sifar. Pelepasan kuasa yang sifar akan menghasilkan kecekapan 100% secara teorinya (http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_amplifier).

2.4 Teori Penguatkuasa

2.4.1 Kecekapan

Kecekapan ataupun Kecekapan Salir didefinisikan sebagai nisbah di antara Kuasa Keluaran di Salir terhadap Kuasa Masukan yang dibekalkan ke salir melalui sumber DC.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{DC}} \quad (2.0)$$

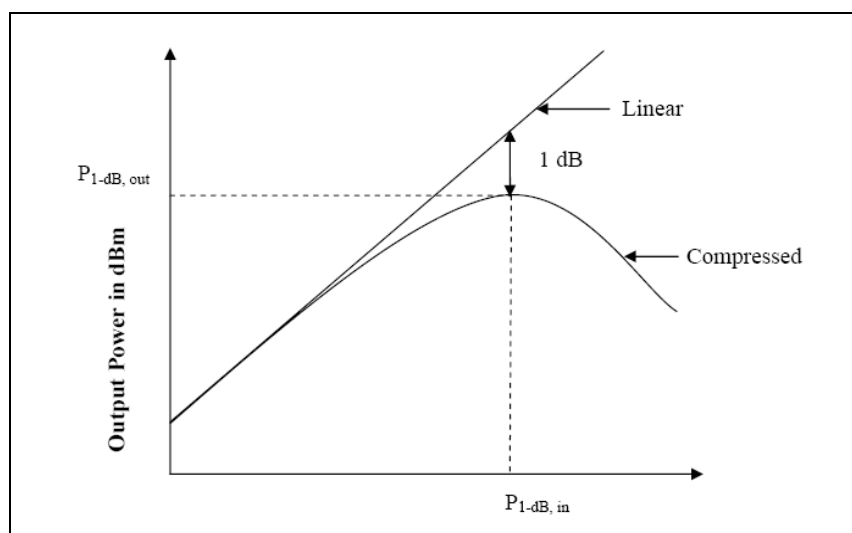
Walaupun bagaimanapun, Kecekapan Salir tidak cukup untuk menentukan prestasi bagi sesuatu penguatkuasa RF. Ini disebabkan terdapatnya kuasa RF yang besar di masukan penguat terutamanya yang melibatkan penguat yang mempunyai gandaan yang rendah. Maka Kecekapan Kuasa Tertambah diperkenalkan. Kecekapan Kuasa

Tertambah didefinisikan sebagai perbezaan di antara Kuasa Keluaran dan Kuasa Masukan dan dibahagikan dengan Kuasa DC.

$$\eta_{PAE} = \frac{(P_{OUT} - P_{IN})}{P_{DC}} \quad (2.1)$$

2.4.2 Titik Mampatan 1-dB

Gandaan penguat berada dalam keadaan yang tetap apabila penguat beroperasi di dalam kawasan linear. Walaubagaimanapun, apabila kuasa isyarat masukan meningkat terdapat titik di mana gandaan penguat mula menunjukkan pengurangan. Titik mampatan 1-dB didefinisikan sebagai titik di mana gandaan berkurang daripada nilai gandaan linear sebanyak 1-dB. Titik mampatan 1-dB boleh merujuk kepada masukan atau keluaran yang diukur dalam unit dBm. Penurunan gandaan secara mendadak dapat dilihat apabila telah melalui titik mampatan 1-dB ini.



Rajah 2.8 : Titik Mampatan 1-dB (Muthuswamy Venkataramani,2004)

2.4.3 Gandaan

Terdapat pelbagai definisi untuk menentukan gandaan kuasa bagi penguat. Di antaranya ialah Gandaan Kuasa Transduser, Gandaan Pengendalian Kuasa, Gandaan Kuasa Boleh Sedia dan Gandaan Boleh Sedia Maksimum. Gandaan Pengendalian Kuasa juga dikenali sebagai Gandaan Kuasa Maksimum (G_{max}) dan ia adalah nisbah di antara Kuasa Lesapan di beban terhadap Kuasa Penghantaran di masukan bagi rangkaian dua terminal. Gandaan ini tidak bergantung terhadap Z_s walaupun sesetengah litar aktif sangat bergantung kepada Z_s (David M.Pozar,1998).

$$\text{Gandaan Pengendalian Kuasa , } G_P = \frac{P_L}{P_{IN}} \quad (2.2)$$

Gandaan yang selalu diaplikasikan dalam rekabentuk penguat ialah Gandaan Kuasa Transduser. Ia adalah nisbah di antara kuasa penghantaran ke beban terhadap kuasa yang terdapat di sumber. Bagi gandaan ini, ia bergantung terhadap kedua-dua Z_L dan Z_s .

$$\text{Gandaan Kuasa Transduser , } G_T = \frac{P_L}{P_S} \quad (2.3)$$

Gandaan Kuasa Boleh Sedia ialah nisbah di antara kuasa yang boleh sedia daripada rangkaian dua terminal terhadap kuasa boleh sedia daripada sumber. Kedua-dua sumber dan beban dianggap padan secara konjugat dan ia bergantung terhadap Z_L sahaja.

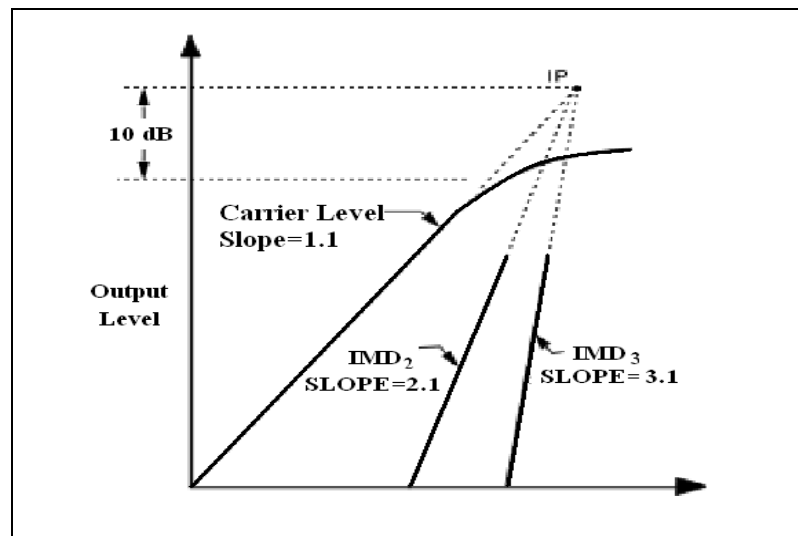
$$\text{Gandaan Kuasa Boleh Sedia, } G_A = \frac{P_{avn}}{P_{avs}} \quad (2.4)$$

2.4.4 Herotan Saling Modulan

Secara umumnya kelinearan bagi sesuatu penguatkuasa ditentukan dengan merujuk kepada herotan saling mampatan. Herotan saling modulan melibatkan percampuran di antara frekuensi asas dan harmonik apabila dua atau lebih ujaan frekuensi-frekuensi wujud (Stephen A.Maas,2003). Sekiranya ujaan ini mengandungi frekuensi-frekuensi $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ dan seterusnya, maka keluaran akan terdiri daripada frekuensi-frekuensi $m\omega_1 + n\omega_2 + p\omega_3 + q\omega_4$ di mana m, n, p dan q adalah integer. Fenomena herotan saling modulan akan menyebabkan terhasilnya harmonik yang tak diperlukan dan akan merosakkan nada yang asas.

2.4.5 Titik Pintasan

Titik pintasan ialah titik imaginasi di mana cerun asas bagi Herotan Saling Modulan Kedua (IMD_2) dan Herotan Saling Modulan Ketiga (IMD_3) bertemu.



Rajah 2.9 : Titik Pintasan(Muthuswamy Venkataramani,2004)

2.4.6 Hingar

Hingar didefinisikan dengan menggunakan Faktor Hingar (N). Faktor Hingar adalah linear dan bersamaan dengan nisbah di antara isyarat dan voltan di keluaran yang kemudian dibahagikan dengan nisbah isyarat dan voltan di keluaran. Apabila sesuatu sistem tidak mempunyai hingar ini bermakna Faktor Hingar adalah bersamaan dengan uniti. Angka Hingar pula merupakan satu persamaan yang menggambarkan Faktor Hingar dalam nilai dB. Bagi rekabentuk penguat, hingar kurang dititikberatkan kerana ia merupakan peranti yang terakhir dalam blok pemancar. Persamaan Fries di bawah merujuk kepada jumlah Faktor Hingar bagi sambungan penguat secara kaskad.

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (2.5)$$

BAB 3

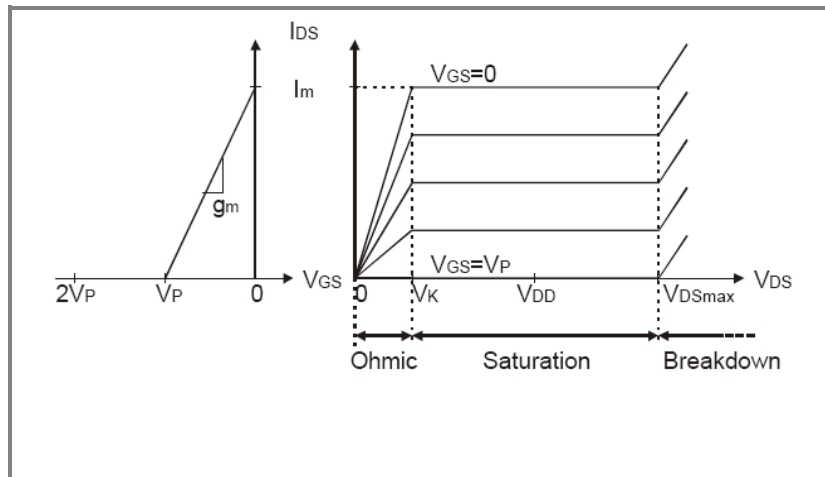
PELAKSANAAN REKABENTUK

3.0 Pengenalan

Secara umumnya, bab ini menerangkan tentang langkah-langkah yang dititikberatkan bagi merekabentuk penguatkuasa. Langkah-langkah ini melibatkan analisa DC bagi menentukan titik operasi transistor yang akan digunakan sebagai penguatkuasa, mendapatkan parameter-S transistor seterusnya nilai-nilai parameter-S ini dapat digunakan untuk mengkaji kestabilan transistor yang digunakan. Kemudian, teknik pemadanan galangan yang sesuai diperkenalkan bagi memastikan kuasa RF dapat dihantar semaksimum yang mungkin dari sumber ke beban.

3.1 Analisa DC

Simulasi DC dilakukan bagi memaparkan ciri-ciri pindah I-V bagi menghubungkan di antara masukan dan keluaran. Graf ciri pindah di antara Arus-Voltan dapat memaparkan kawasan di mana transistor berfungsi, Arus Salir yang maksima dan Voltan Ambang. Rajah 3.1 di bawah menunjukkan ciri-ciri masukan dan keluaran bagi FET yang ideal.



Rajah 3.1 :Ciri-ciri ideal bagi masukan dan keluaran FET

(www.emst.tuwien.ac.at/neu/EMST_home/02_FO/ME/Publications/RF%20Power%20Amplifier%20Design.pdf)

3.2 Pemincangan DC

Transistor Kesan Medan adalah tidak sensitif terhadap suhu. Maka untuk mengetahui ciri-ciri Transistor Kesan Medan, voltan pincang yang tetap diperlukan semasa melakukan pemincangan DC (Allan W.Scott,1993). Cara yang paling mudah untuk memincang Transistor Kesan Medan adalah dengan menggunakan dua voltan pincang yang tetap iaitu Voltan Salir-Sumber (V_{DS}) dan Voltan Get-Sumber (V_{GS}). Di antara kaedah lain yang digunakan untuk memincang Transistor Kesan Medan RF adalah menggunakan perintang sumber. Perintang sumber mempunyai kelebihan apabila dapat menghasilkan balikan untuk menstabilkan Transistor Kesan Medan serta hanya memerlukan satu sumber kuasa sahaja semasa melakukan pemincangan (Allan W.Scott,1993). Apabila transistor telah sepenuhnya dipincang, ia mestilah dipadankan