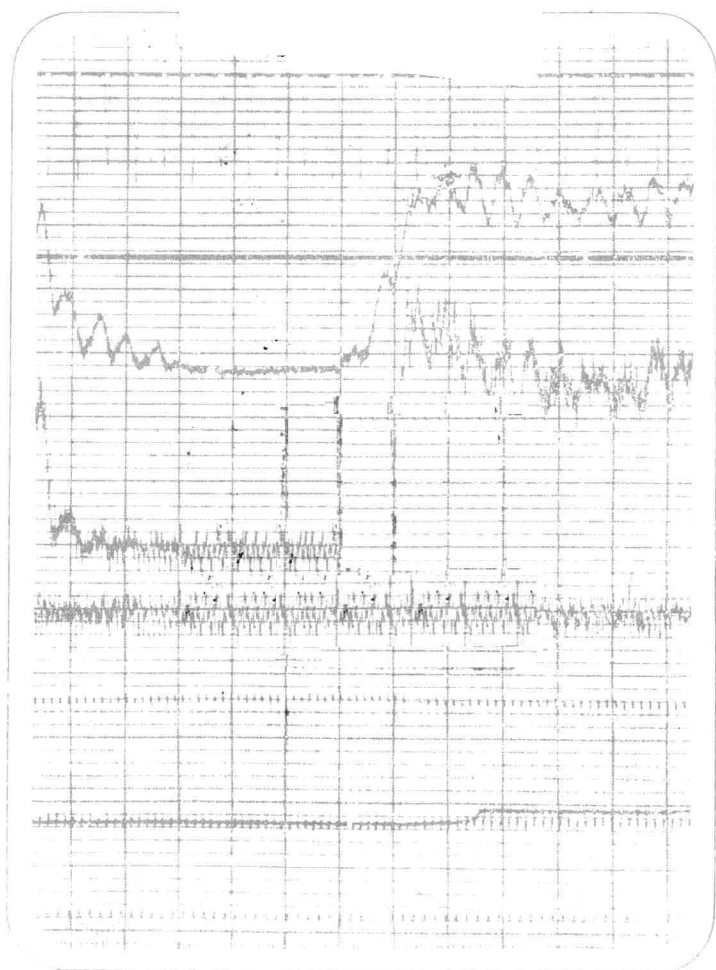


電晶體直流增幅器

戶室晃一著・王明淵譯

電晶體直流增幅器

戶室晃一著・王明淵譯



正言出版社印行

序

在支持革新現代技術一大柱子之電子工業學上，於第二次世界大戰中發明的雷達開始的脈衝波技術有長足的進步，產生許多新技術。一方面，產業界轉移全面性一貫大量生產，於是引起直流增幅與歸還理論的飛躍性發展。這樣在科學與工學的範圍中，不分晝夜，處理或者測定許多現象，在這中間直流增幅器以及直流增幅技術所佔有的任務非常大。

但是正當我們想對直流增幅器學習時，我們發覺有系統性的刊行書籍意外地少。當做教科書而記述的專門書雖然很多，但是從直流增幅器的實際要求看來，好像有一點不夠實用之感。

這些書籍裡，當做基本性的增幅回路使用的就是所謂低周波增幅，而直流增幅器好像把它的領域擴張到直流領域一般用特殊例來處理它的樣子。我却認為是相反的。應該把直流增幅器當做基本回路，無視了偏壓項目一就是只考慮信號分才是低周波增幅器的，而考慮到浮遊容量時，就可以連想到視頻，音聲電波增幅器了。

本書是把入門解說做為主旨，當實惠的參考書而被企畫出來的。寧願不要把這本書當做教科書，而祈求做為製造直流增幅器，或者使用直流增幅器來測定時能夠助你一臂之力，或為實用本位而構成的。

如今這些技術與知識，很廣泛地成為理學、工學、產業界最重要的地位，新進氣銳的技術人員被各界需求的今日，本書倘能做為引導之參考，是我所盼望，榮幸的事。

當我編輯本書時，我很感激地對着鼓勵我執筆，以及協助我的產報出版社各位關係先生們，深深地致謝。

1966年8月

目 錄

第一章 直流增幅器是怎麼樣地被使用？

1.1	直流現象的測定	1
1.2	電子工學裡的直流增幅器	2
1.3	機械工學裡的直流增幅器	4
1.4	理化學研究範圍裡的直流增幅器	5
1.5	對醫學的應用	5
1.6	直流增幅器的種類	7

第二章 電晶體與它的特性

2.1	適合直流增幅器的電晶體	12
2.2	電晶體的雜音	21
2.3	電界效果電晶體	26
2.3.1	接合形FET的構造	27
2.3.2	MOS形FET的構造	29
2.3.3	FET的特性	30
2.3.4	使用FET時的注意事項	35
2.3.5	FET增幅回路	35
2.3.6	有關FET的規格	37

第三章 差動增幅回路的解析

3.1	差動增益與同相增益的計算	39
3.2	CMR和改善方法	49
3.3	同相負回授的效果	56

第四章 直流增幅器的漂移

4.1 電晶體的漂移	62
4.1.1 由 V_{BE} 的漂移	64
4.1.2 直結形差動增幅器的漂移	66
4.2. FET 的漂移	75
4.3. 電晶體・遮斷器	80
4.3.1 電晶體・遮斷器的動作	80
4.3.2 I_{PI} 與 V_{PI} 的特性	83
4.3.3 輸入量阻抗	89
4.3.4 漂移	91
4.3.5 波尖	95
4.3.6 增幅器的構造	97
4.4. FET 遮斷增幅器	99
4.4.1 FET 遮斷器的動作	99
4.4.2 FET 遮斷器的誤差	100
4.5 光遮斷器式直流增幅器	105
4.6 遮斷穩定形直流增幅器	107

第五章 演算增幅器與應用

5.1 演算增幅器的基本回路	113
5.2 符號變換增幅器	116
5.3 加算器	116
5.4 高輸入阻抗增幅器	117
5.5 引算器	119
5.6 加減算器	120
5.7 高輸入阻抗差動增幅器	121
5.8 電荷增幅器與電流增幅器	123

5.9	積分器	125
5.10	浮置輸入增幅器	126
5.11	可變標準電源	127
5.12	可變定電流源	128
5.13	橋輸出檢出用增幅器	130
5.14	橋的平衡點檢出用增幅器	132
5.15	直線檢波器	134
5.16	比長儀	136
5.17	阻抗・純量	138
5.18	發振器的應用	139
5.19	濾波器的應用	140
5.20	直線分度阻抗計	147
5.21	二乘演算增幅器	150
5.22	對數增幅器	152
5.23	使用 F E T 與演算增幅器的乘除算回路	157

第六章 直流增幅器的實例

6.1	用二極管做溫度補償的差動增幅器	160
6.2	施負回授的 100 倍電壓增幅器	163
6.3	輸入輸出都差動的直結增幅器	166
6.4	高輸入阻抗差動增幅器	168
6.5	鏡・像增幅器	171
6.6	提高三用表感度的簡單前置放大器	172
6.7	視頻增幅器	175
6.8	使用在電子樂器之一部分的加算器	176
6.9	0 ~ 20 A 的定電流電源	176
6.10	電子電容器	178

6.11	積分增幅器	180
6.12	等差差動增幅器	182
6.13	使用靜電計管的微少電流增幅器	184
6.14	使用 F E T 的高輸入阻抗直流增幅器	186
6.15	依 F E T 的演算增幅器	187
6.16	使用 F E T 的差動電壓計	188
6.17	0 ~ ± 50 m V DC 毫伏特計	189
6.18	使用 F E T 的電壓・電流增幅器	190
6.19	筆錄器驅動用直流增幅器	192
6.20	電晶體遮斷增幅器	215
6.21	輸入隔離形電晶體遮斷直流增幅器	216
6.22	使用光遮斷的演算增幅器	221

副刊	國產 F E T 代表例的各種特性	223
----	-------------------	-----

第一章 直流增幅器是 怎麼樣地被使用？

1.1 直流現象的測定

說起直流增幅器來時，也許讀者之中，認為那是關連疏遠，只限制一小部分範圍內人們的事情。的確在十年以前，這直流增幅器是屬於特殊電子技術部門範圍裡面。但是在第二次世界大戰後，電子技術飛躍發展中，尤其直流增幅器的技術，有長足的進步，成為我們電子技術人是最親近技術之一了。我們回顧一下，可以發現在工場公司現場、研究室、學校，甚至街頭上業餘無線電工的桌上，都可以看到直流增幅器。這是最簡單，又最普遍的直流增幅器。

那麼除了這些以外，尚有什麼直流增幅器，在什麼場合使用呢？我們在解說直流增幅器以前，先懂得它在產業界所佔有的地位——成為支持現代科學技術一柱子的直流增幅器技術的重要性，透過實用例子來認識才是緊要的事。

當我們想製造什麼東西，想引起什麼變化，做些作用時——就是想做些技術上的行為時，也應該知道些對象是什麼，什麼構造的，有什麼現象等等，事先對着對象物品的性質，狀態知道才行。就是必須測定對象物的特性。

測定特性，知道兩個以上的互相作用法則性，以及給其他東西之效果的必然性與偶然性，然後所得到的知識對着自然對象物，有意識性地適用起來，假使這些事情符合起來叫做「技術」時，我們比任何東西更應該重視測定技術才行。

那麼在產業裡普通被測定的是那些事情呢？所謂工業測定就是壓

力、溫度、變位、速度、加速度、歪率等等。除了速度與加速度以外其他量的變化是比較緩慢的。

例如，我們對着精製石油的過程來說，測定溫度之後，把它保持一定的溫度，就是最重要的技術，這時候測定的溫度是沒有變化的固定值，就是測定直流或者將近直流，測定緩慢變化的現象。

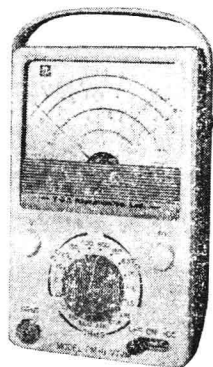
最近特別發達的高分子化學工業裡，所有複雜的任何化學反應過程，在反應裝置中的壓力、溫度、流量等都用嚴格的管理來控制。在這裡測定的溫度、壓力、流量等，並不是以一秒之數十分之一一般的速度變化的東西，也是很緩慢將近直流一般的速度。

我們應該測定各種各樣的現象，當我們記錄測定結果，或都制御其他的機器時，必須需要依賴直流增幅的技術才行。因為我們既要檢出來的任何現象的裝置（叫做換能器）的輸出力，大概是 mV 以下的大小，這樣子才能對高感度的電流計使它振動而已，而完全無法使它活動記錄器，又不能使用在制御用的。這樣很意料之外，在我們身邊，直流增幅器所演的主要角色的範圍，非常多。我們列舉其中重要的東西吧。

1.2 電子工學裡的直流增幅器

也許你對這電子工學的直流增幅器的題目，多多少少有奇異的感覺吧，其實這直流增幅器本身，真正滲透在電子工學裡，已經不必再提出來了。就是說並不是當做「直流增幅器」來表面化，成為各種回路的一部分來使用它。

最代表性，大家都知道的是三用表（照片1.1）這可以說是典型性的直流增幅器了。普通可動電動形的電壓計，不管感度的好壞，為了使它振動電針，必須需要一定的電力。因此從被測定



照片1.1 三用表

回路上採取了電力，所以測定真空管的陽極電壓或者銀幕電壓時，它的誤差會很大。於是使用真空管增幅器來測定時，柵極回路可以提高阻抗，所以可以測定不必影響被測定回路，為了使計量計的針振動，可以利用輸出的最大電力。

許多場合裡，三用表直流增幅器是一段的差動增幅器，而做增幅回路是最基本的回路。最近之三用表類也成為高度的成品。它像後述的應用例一般，驅使了種種增幅技術的數 mV 的測定，也可有充分安定的東西出現了。至於對無線器來說，例如為了 S 計量而使用簡單三用表，或者為了提高 AVC ， AF 回路的效果，應用直流增幅器的機會也增加了。

電子工學的範圍之內，應用直流增幅器不可忘記的，有一種定電壓（或者定電流）的電源應用。定電壓電源，成為像圖 1.1 的方塊圖一般的構成，把輸出力所產生的電壓變化和一定的基準電壓（ E_s ）比較起來，這差額由直流增幅器（AMP）來增幅

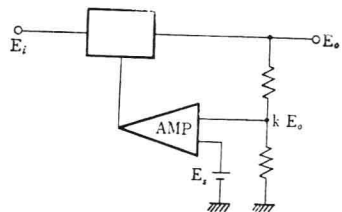


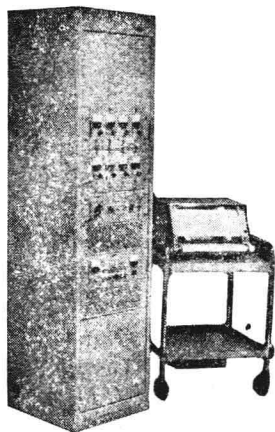
圖 1.1 定電壓電源

，制御了直列制御素子，把輸出電壓和基準電壓的差 $4E$ 成為零，而這時的直流增幅器，可稱為誤差增幅器。

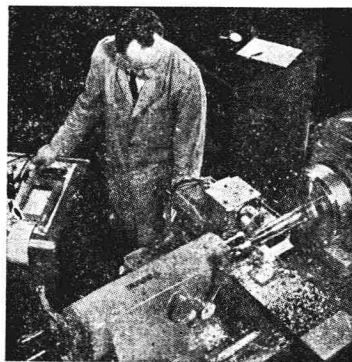
最近為了提高電子機器的依賴性，施行減少部品的點數，而在這裡發揮威力的並不是以直流增幅器本身的功能，其實是使用直流增幅器技術的直結增幅器。則不必增幅直流為目的的時候，由於除去增幅段間的結合用 CR 來直接結合，省略了結合電容器，偏壓抵抗等等，可以提高它的信賴性了。這時候，尤其把直流的增幅度，設計特別低，以減少動作點的變動，是最大的特徵。

1.3 機械工學裡的直流增幅器

那麼一般的產業中，尤其機械工業界怎樣來利用它呢？例如在汽車工業裡，測定了性能，判定坐着舒服不舒服，各部的振動，引擎轉軌、速度、加速度、刹車的壓力……等等各種資料情報。通常使用了阻抗歪線或者應用這換能器來測定。阻抗線歪計素子的輸出力，大約數百 μV 程度，爲了增幅困難的關係，一般使用搬送波的變調增幅器來代替它，如果把測定資料在最後使用示波器記錄時，爲了電力增幅而使用直流增幅器的。（請參照照片 1.2 圖）。最近在一般機械工業裡，像測定車床等工作機械的削刀記錄（照片 1.3），又測定加工



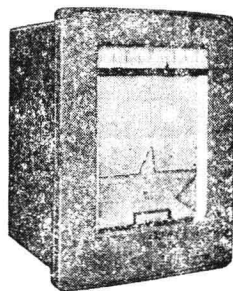
照片 1.2 火箭測速計受信記錄用高精度直流增幅器以及記錄機。



照片 1.3 附設在削刀由電阻線歪計的切削速度等的檢討。左邊是直流增幅器和記錄機。

後表面上的粗細之粗細計算記錄，測定車輪精密度記錄，電氣溶接時測定溶接電流的記錄等，以及記錄各種工業量時成爲示波器驅動電力增幅器來使用直流增幅器。這些工業量通常表示直流性的變化，或者只不過數十循環以下的變化速度的關係，所以需要直流增幅。

那麼自動操作時怎麼樣。我們可以說，於自動操作時，才成立了以直流增幅的技術做為基礎的。在自動操作最豪華的石油化學工業，高分子化學工業等裡，應該測定控制的是溫度、壓力、流量東西，對象是個化學反應的，所以沒有那樣快速。而且為了物質的合成，一定要嚴守被規定的條件。由於這些必要，被要求使用高度直流增幅器的自動控制裝置，以及記錄裝置。（照片 1.4）一般自動操作，都用信號水準是 $0 \sim 10 \text{ mV}$ ，精度 0.5 % 程度是普通的形態。



照片 1.4 工業計器
（自動平衡形記錄計）
（提供＝橫河電機製作所）

1.4 理化學研究範圍裡的直流增幅器

在這範圍之內，尤其是物質的物理化學性質的測定，各種直流增幅器在各種場合各種方式被使用。例如使用振動容量形直流增幅器的微，微安培計，超高電阻測定器，斬波式 PH 計，色品圖，自動記錄機械等的分析機器記錄裝置，X - Y 記錄裝置等等，不勝枚舉。另外一種巧妙地利用直流增幅器本身的類似形計算機也是重要應用範圍。有關類似形計算機有許多解釋書，所以在這裡我們把它省略不談，但是類似形計算機的精度就像直流增幅器的精度一般，對直流增幅器是重要的東西。

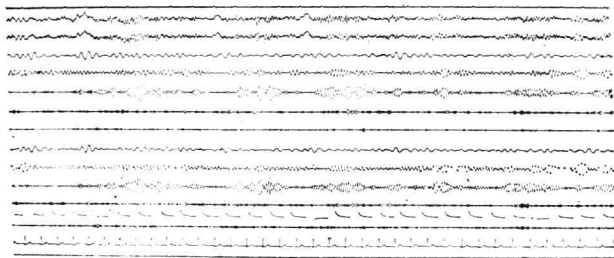
1.5 對醫學的應用

在電子工學中，最近被注目的應用範圍內，有醫用電子工學。這是戰後電子工學發展的自動操作與電子計算機——尤其兩者結合而在

軍事應用面飛躍性的發展，在人類社會和平世界裡，讓人醒目觀看着上時代寵兒一般的，成為純粹和平產業了。

現在醫用電子工業的主流是醫用計測裝置，像腦波計（卷頭畫照片3以及照片1.5），心電計，筋電計等等，已經登上了週刊雜誌的誌面來湊鬧了。

這些生體電氣現象特徵，延長到很低的周波數成分的領域去，而且這信號電壓非常地低，所以對人體在房間裏（在街市裡連屋外也一樣）的範圍之內，電源周波數的電流，比信號電壓大大地包含在裡面的。例如腦波是 $1 \sim 60 \text{ c/s}$ （研究性是到直流為止），而電壓是



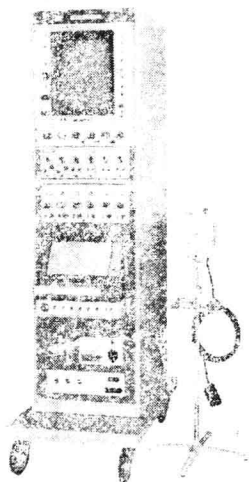
照片 1.5 腦波的記錄例

通常 $50 \sim 100 \mu\text{V}$ ，至少也在 $10 \mu\text{V}$ 程度的，心靈圖是 $0.1 \sim 30 \text{ c/s}$ （有時到 60 c/s ），電壓在 $1 \sim 2 \text{ m}$ 程度。筋電圖是 $10 \text{ c/s} \sim 1 \text{ Kc}$ （有時 10 Kc ），電壓大約在 $5 \mu\text{V}$ 到十數 mV 之間。

把這些信號增幅時，當然用普通 Audio Amp lificr（聲頻電波增幅器）把結合時定數極端地設計增大後，用 C R 結合的增幅器也可以充分地增幅了它，而現在外國已經有了這種增幅器了，可是在我國是使用直流增幅器，來減少 C R 結合的段數而設計的。這樣地我國的醫用計測裝置是以直流增幅器做為主體而設計的。

另外一個醫用計測的特徵之關鍵問題，是在前述中的「如何除去信號重疊的電源周波數之誘導雜音」。幸虧這誘導雜音可以在人體表

上的二點來測定，除非電極間的距離有極端的離開以外，大部分的位相都相同，因此我們叫它為同相雜音。生體的信號電壓會增幅 2 點間的電位差，所以只有相反位相的成分，增幅器就只增副相反成分，而同相成分不必增幅可以要求它的衰減的。



照片 1.6 撒謊發現器

我們把這性能叫着同相分除去比 (Common mode Rejection Ratio CMR)，普通要求 60~80 dB 程度。CMR 是直流增幅器的差動形，為重要性能之一。在醫用電子工學裡，除了這以外所測定的東西都是超低周波領域的較多，所以使用直流增幅器的機會比較廣闊。

1.6 直流增幅器的種類

這樣地直流增幅器在社會生活中任何範圍之內都有直接結連的應用範圍，但是並不是任何直流增幅器都適合固定的範圍。我們把它大概分類起來就成為表 1.1 的種類來。

直結形直流增幅器，和字的意思一樣，增幅器的各段間的結合，不使用電容器而直接結合的（如圖 1.2）為了和次段的配合直流水準，有時候會使用熱納 2 極體。這方式可以用極為簡單回路與少數的素子數造出高感度的增幅器來，但是電晶體的時候，由於本質上的關係容易受到溫度上的影響，所以不適合低信號的地方。但是由於電晶體製造技術的進步，尤其最適合用積集回路製造，所以也許成為今後

發展的主流吧。

變調形直流增幅器是，把直流信號用變調器光度改變為交流信號之後用安定的交流增幅器來增幅到容易使用的大小，再用復調器改變直流的方式（圖 1.3 與下頁）

直流增幅器，由於使用直交變改的素子可以分成這樣的幾個方式。

斬波式中使用機械斬波的方式是在漂動關點上得到現在最高性能，可以把非常小的直流電壓很安定地增幅起來，但是因為斬波接觸點磨耗的關係，有難以保護的重大缺點。（圖 1.4）。

使用半導體斬波的東西，是把電晶體或者二極管當做開關素子來使用，把直流斷續之後改變為交流，它可以較

直流增幅器的分類

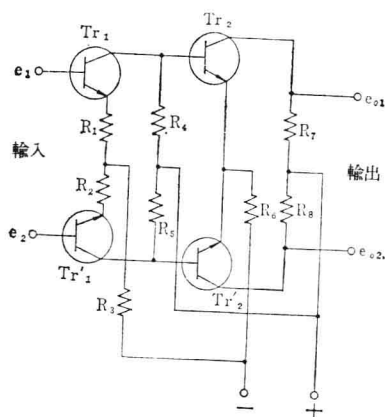
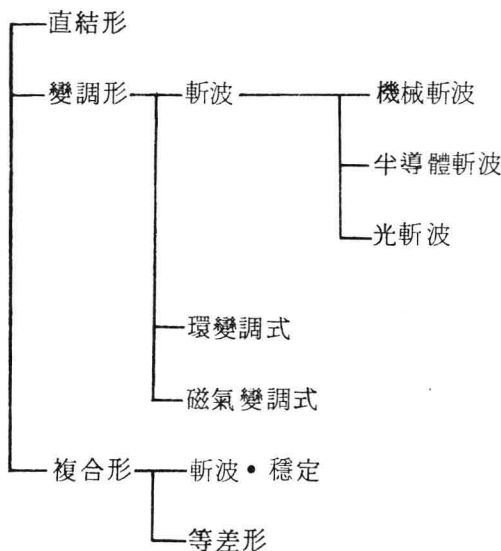


圖 1.2 直結形直流增幅器的一例子

機械斬波得保持很長的壽命，但是對溫度的不穩定性是不可避免的。
(圖 1.51.6)

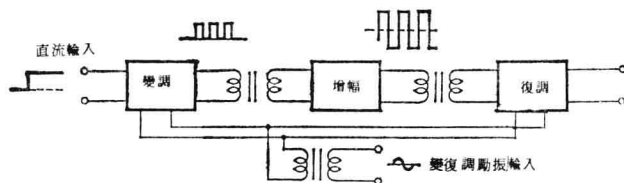


圖 1.3 變調形直流增幅器

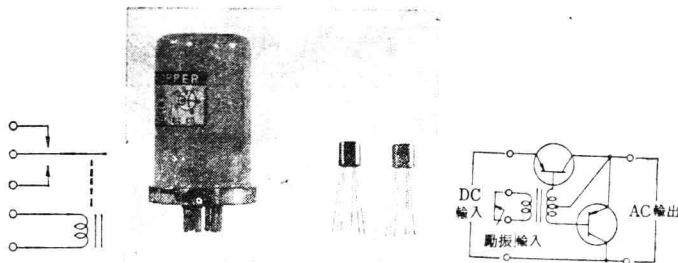


圖 1.4 機械式斬波

圖 1.5 電晶體斬波

光斬波是像硫化鉛 (Pbs) 一般，使用對光線響應較快的光導電素子，然後由於斷續光線來大大改變輸入回路的電阻，做直交改換，所以，它的溫度特性比電晶體斬波可以做出較好的東西來，但是沒有電晶體那樣高速度的開關就是唯一的缺點。(圖 1.7)

環變調器是利用二極管的接合容量掛在接合面的直流電壓來改變的，而把二極管，橋的平衡用直流輸入來折毀，然後加在其他二端子，使它做出交流信號的不平衡輸出。只是二極管的容量過大很難選擇，通常爲了使用 100 KHz 程度的高周波數，容易招來許多電橋的平衡，隔離罩等製造技術上的困難。(圖 1.8)

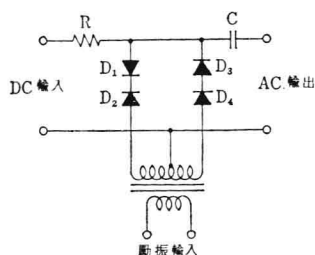


圖 1.6 二極管・斬波

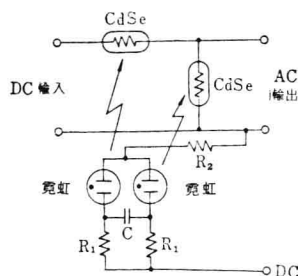


圖 1.7 光・斬波

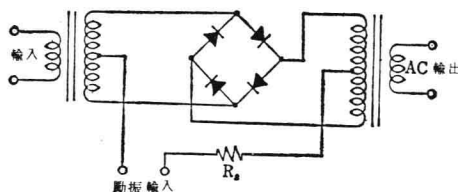


圖 1.8 環變調器

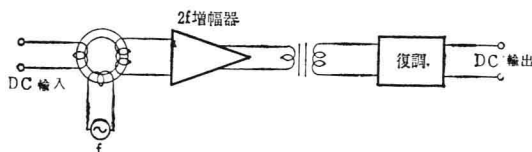


圖 1.9 磁氣變調式直流增幅器

磁氣變調型好像一種磁氣增幅器一樣的東西，通常是利用磁性材料的非直線性，用交流信號磁化（利用磁化特性的直線部到飽滿點）的核心，再用輸入信號加上直流偏壓，結果它的波形變歪與輸入信號成比例大小之第2高調波會產生起來，再抽出然後增幅的方式。（圖1.9）所以在這場合，輸入信號必須對偏壓電路通流電流才行。這可以說最適合原本性電流增幅的回路。用這方式時，它的增幅界限是由所使用的核心內之 **bulk hosen noise** 來決定，所以可以製造高