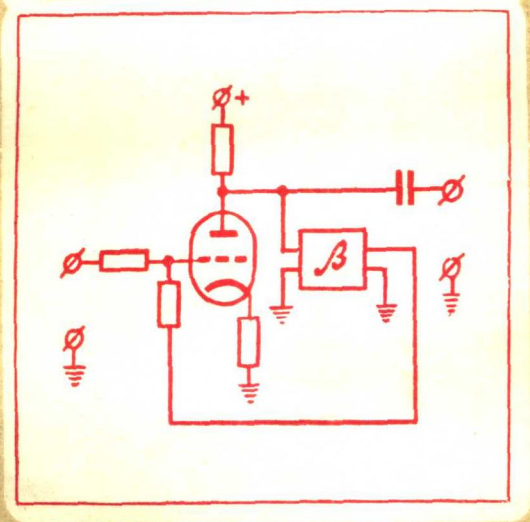
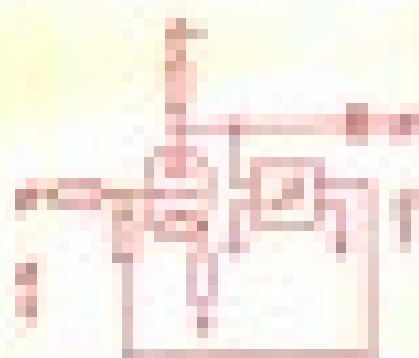


單級电子管回授电路



人民邮电出版社

甲級電子管國模电路



人民邮电出版社

單級電子管回授電路

蘇聯 И. Г. 高爾特列葉爾著

人 民 郵 電 出 版 社

И. Г. ГОЛЬДРЕЕР
ЛАМПОВЫЙ КАСКАД
С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

單級電子管回授電路

著者: 蘇聯 И. Г. 高爾特列葉爾
譯者: 郭庭萍 劉 灝
出版者: 人民郵電出版社
北京東四區6條胡同13號
印刷者: 郵電部供應局南京印刷廠
南京太平路戶部街15號
發行者: 新 華 書 店

書號: 1067 1956年2月南京第一版第一次印刷 1—4,000冊
850×1168 1/32 43頁 印張 $2\frac{2}{3}$ 字數60,000字 定價(8) 0.53元

★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

前 言

蘇聯的業餘無線電家們正從事着巨大的創造性勞動。他們設計、製造和修理着各種無線電接收機、無線電發射機、無線電轉播站、電視接收機、錄音設備、無線電測量設備以及其它設備。業餘無線電家們正在擴大自己的活動範圍，並力圖將無線電技術應用到祖國的各個國民經濟部門中去。他們創造了許多新的無線電設備，並提出了許多有價值的技術上的建議。每年按照傳統舉行的業餘無線電設計師的創作展覽會，就是這種創造性勞動的例證。

業餘無線電家們要想能創造性地勞動，就必須不斷提高自己在無線電技術方面的知識水平。爲了能擴大無線電技術方面的眼界，業餘無線電家們最好鑽研一下無線電技術的一般問題；如果不研究這些問題，那末他們就很難瞭解各式各樣的無線電綫路。在各種電子管電路級，例如放大器、正弦波發生器和弛張振盪器、調頻器、放帶濾波器等等中應用回授的問題，即屬於這類問題。

在近代無線電設備的各級電子管電路中廣泛地應用回授，可以提高設備的質量指標，簡化結構和降低價格，同時使我們有可能創製許多原理不同的新設備和儀表。

本書的目的是要幫助具有一定基礎的業餘無線電家們熟悉一下回授的各種形式，以及各級電子管中應用這些回授時所產生的物理結果。它可以作爲較深著作（討論各種不同形式的回授理論的著作）的引論。在本書有限的篇幅中，不容許詳細地討論將回授應用於多級電子管電路中的問題。因此把本書就稱爲《單級電子管回授電路》。

編者

目 錄

前 言

概 論

同授的形式	(1)
同授放大級放大係數	(4)
電子管作為萬能阻抗	(7)

負 同 授 級

級中所發生的失真的形式	(16)
用負同授減低失真	(18)
同授方式不同的各種負同授放大級的特性	(20)
負同授放大級的電路	(23)

正 同 授 級

放大級放大的提高	(33)
振盪迴路質量因數的提高	(36)
正弦波振盪器	(38)
觸發電路和弛張振盪器	(47)

電抗性同授級

電子管電抗的基本電路	(57)
頻率控制器	(59)
質量因數高的電抗管	(61)

阻抗性同授級

RC振盪器	(63)
負互導管振盪器	(70)
無電感的電子式濾波器	(75)
參考文獻	(82)

概 論

回授的形式

電子管放大級是一個有源的四端網絡，也就是具有兩個輸入端和兩個輸出端的設備。它能將能量從輸入端傳至輸出端，而本身亦具有能源。有源四端網絡與本身沒有能源的無源四端網絡不同之點就在於此。

當有回授存在時，電子管四端網絡輸出端有一部分能量送回到輸入端去。這種能量的反饋，或靠人爲的回授電路來達到，或藉存在於電子管各電極間的各種自然耦合來實現。

在電子管電路中爲實現某種目的而加的回授，可有下列幾種形式：1. 正回授（電阻性回授）；2. 負回授（電阻性回授）；3. 電抗性回授；4. 複回授（帶有正的電阻性成分或負的電阻性成分）；5. 電阻性的（正的或負的）或電抗性的非綫性回授。應用回授後的各種物理結果是不同的，且與回授的形式有關。

讓我們來研究一下正的或負的電阻性回授的作用。在普通的放大級中，屏極上的瞬時電壓與柵極上的瞬時電壓在相位上相差 180° 。如果柵極上的電壓減小（變得更負），那末屏極電流也就減小。因此，在屏極負載電阻上的電壓降將減小，而對陰極而言的屏極電壓則增大。

如果由於回授的作用，加在輸入管柵極上的合成交流電壓增大，那末此回授就稱爲正回授；如果該合成交流電壓減小，那末此回授就稱爲負回授。在負回授時，輸入電壓中應減去由輸出端送回

來的電壓，因為前者在相位上與後者相差 180° 。在正回授時，此電壓與輸入電壓係同相。這些回授之所以被稱為**電阻性回授**，是因為在回授的時候，屏極電路將把若干功率送進了柵極電路。

如果回授電路的結構恰能使加在輸入管柵極上的回授電壓與輸入電壓在相位上剛巧相差 90° 或 270° ，那末這種回授就稱為**電抗性回授**。這種回授改變了作用在柵極上的合成交流電壓的相位和幅度。

如果回授電路所回輸的電壓與輸入電壓在相位上並不是剛巧相差 0° 、 90° 、 180° 、 270° ，而是相差一個在它們之間的任何其它角度，那末這種回授就稱為**複回授**。這種回授既改變了合成輸入電壓的幅度，又改變了它的相位。

在近代的無線電設備中廣泛地應用着電阻性回授和複回授。

單級電子管回授電路的工作過程的改變原因是由於被電子管所放大的能量重又作用於電子管的控制柵極上。

由屏極電路輸入柵極電路中的回授電壓，可以與輸入的控制電壓相串聯地或相並聯地加至電子管的柵極。根據這點我們分別稱它們為**串聯回授**或**並聯回授**。

如果加在放大器輸入電路中的回授電壓與輸出電壓成比例，那末此回授就稱為**電壓回授**。如果加在放大器輸入電路中的回授電壓與輸出電流或放大級屏極電流的交流成分成比例，那末此回授就稱為**電流回授**。

如果回授電路中的分壓器具有若干非線性電阻，並且應用它的伏安特性曲線的非線性部分，那末這種回授就稱為**非線性回授**。

在許多場合下，回授電壓是經整流之後才加至輸入電路中去的，即回授是用變換電壓的種類來實現的。這種回授多半是用來使

整流後的電壓能對具有控制參數的電子管起作用。這種回授常用於自動增益控制 (APV) 並用來穩定電子管振盪器的頻率或電壓、穩定無線電接收設備的輸出電壓等等。

在近代的自動調整設備中，也採用變換物理量的回授和遲延回授。

變換物理量的回授是將單級電子管輸出電壓的變化改換成某種物理量的變化，這種變化則又作用於電路上，使輸入電壓發生變化。機電變換的自動調整器就是變換物理量的回授的一個例子；在此調整器中，有一個小電力的電動機接在單級電子管的輸出端上，而在單級電子管輸入端上的電壓則由橋接電路供給；此電橋中的一個或幾個臂的電阻是隨電動機轉軸的轉動而變化的。在這種調整器中，單級電子管的輸出電壓是通過機電耦合而作用在輸入電壓上的。除了電動機耦合，同樣也可以利用熱場、磁場和電場等耦合。

在遲延回授的情況下，電子管的輸出電壓通過某一個時延極長的四端網絡而與它的輸入電路相連；而此四端網絡所遲延的時間則等於該電子管所放大的交流電壓的幾個週期。

如果回授是由電子管極間的電容性導電、電子性導電或其它形式的導電所造成的，那末此回授就稱為自然回授。

自然回授可以是正的或負的、電阻性的或電抗性的，自然回授能產生有害的效應也能很好地加以利用。

在電子管中，例如由於屏極與控制柵極之間存在着極際電容就會產生自然回授。因此，放大級就可能自激起來。此時，它不再起放大的作用，而成了振盪器。在此情況下，自然回授的作用是有害的。在另一種情況下，例如在自激振盪器的電路中，却正是利用屏極和柵極間的電容來獲得回授。在此情況下，自然回授是有用的。

在電子管中，由於電子管電極的引出綫在頻率十分高時（在米波和分米波波段內）就會具有若干電感（雖然很小），因此就可能產生自然回授。

如果電子管電路中的另件安排得不好，以致相互之間有靜電效應和電磁效應，那末也會形成回授；這種回授稱為寄生回授。如果電子管的輸入變壓器和輸出變壓器具有極大的漏磁通量，那末當它們相互間安裝得很近時，就會造成正的或負的回授。

無屏蔽的另件和接綫因配置不當，可能會引起單級電子管或多級電子管的寄生回授。由寄生回授也可能因幾級合用一個電源而造成。如果一個屏極電壓電源供給幾個放大級，那末所有的電子管的屏極電流都流過此電源。當電路中沒有去耦電路時，則後面幾個電子管的輸出電路中的能量將進入前幾級的輸入電路中，於是就造成

了回授。

爲了要消除寄生回授，就必須採用去耦電路、合理地配置零件和接綫，並採用各種形式的屏蔽。

回授放大級放大係數

讓我們以串聯回授電路（圖1）作為例子，來求一下放大器在有回授時和無回授時的放大係數。

我們將採用下列的符號： K

——無回授時放大級的放大係數； K_0 ——有回授時放大級的放大

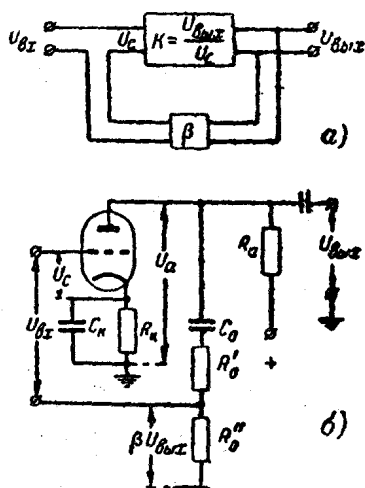


圖 1. 串聯電壓回授電路
a—方框圖；b—原理圖。

係數； U_c ——直接加在放大級電子管控制柵極上的電壓； U_{sx} 和 U_{sly} ——放大級輸入端和輸出端上的電壓； β ——回授電路的降壓比（表示有多少電壓從放大器的輸出端反饋至輸入電路），亦稱回授係數。

電子管柵極上的電壓

$$U_c = U_{sx} + \beta U_{sly}$$

將無回授時放大係數的數值

$$K = \frac{U_{sly}}{U_c}$$

代入上式；解出 U_{sly} ，則得：

$$U_{sly} = K U_{sx} + K \beta U_{sly}$$

此公式的左右兩邊各除以 U_{sx} ，我們將得到：

$$K_o = K + K \beta K_o$$

由此，回授放大級的放大係數的最終公式將為：

$$K_o = \frac{K}{1 - K \beta}$$

在負回授時， β 可以為 0 至 -1 之值，而在正回授時， β 可以為 0 至 +1 之值。

乘積 $K\beta$ 通常稱為回授因數。它表示了這級電子管的工作特性或回授放大器的工作特性，它可以是正的或負的。

當 $\frac{1}{\omega C_o} \ll R_o' + R_o''$ 時，在圖 1 的電路中，負回授起着作用，因而加在電子管的柵極上的電壓減小了 βU_{sly} 。因此，在此情況下，放大級的放大係數將小於無回授時的放大係數。此相當於 $K\beta$ 為負的情況。在正回授時， $K\beta$ 為正，因而放大級的放大係數就增大了。

如果把電容器 C_0 的電容減少至使 $\frac{1}{\omega C_0}$ 可與 R'_0 和 R''_0 相比擬，那末回授電壓將在相位上和 U_{bx} 相差一個小於 180° 的角度。此時，在電路中起作用的將是複回授。同時， βU_{bx} 將與所放大的振盪的頻率有關。

爲了不讓屏極電壓的直流成分進入柵極電路，在所討論的負回授電路中就必需有電容器 C_0 ，才能不使柵極的電位爲正。在此電路中，加在放大器輸入電路中的回授電壓是屏極電壓的一部分；因此 這種類型的回授是電壓回授。

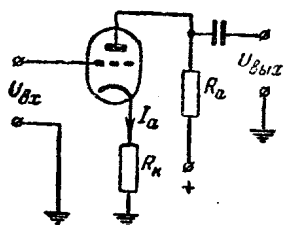


圖 2. 串聯電流回授電路

圖 2 所示的是電流負回授的電子管放大級的電路。在此電路中，回授電壓取自電阻 R_k 。因爲在此電阻上的電壓降與屏極電流成比例，所以這樣一來，在電子管柵極電路中就引入了大小與屏極電流成比例的回授電壓。

在某種場合下，也採用混合回授；此時，將有幾個和屏極電流成比例的電壓還有一部分屏極電壓都作用在柵極電路中。如果在圖 1 的電路中，把電阻 R_k 和電容器 C_k 斷開，那末這電路中將既有電流負回授又有電壓負回授。在負回授十分強時，即 $K\beta \gg 1$ ，在公式 $K_0 = \frac{K}{1 - K\beta}$ 分母中的 1 可以略去不計，約去 K 後，此公式可寫成：

$$K_0 = -\frac{1}{\beta}。$$

從上式可知：在此情況下，放大係數可以小於 1 或等於 1。在這種回授狀態下的電子管電路，具有十分有用的特性，並獲得了極其廣泛的應用。

在正回授的情況下，如果回授因數 $K\beta = 1$ ，那麼 K 公式中的分母將等於零，於是放大級放大係數變成無窮大。這意味着：即使在沒有電壓 U_{ax} 的情況下（短路連接電壓 U_{ax} 的兩端），輸出電壓也將具有某一有限值。在此情況下，放大級變成了電子管振盪器，它能把從電池中獲得的直流電能變成交流電能。依仗正回授來產生電振盪的方法，已廣泛地應用在近代的無線電技術中。

電子管作為萬能阻抗

阻抗的形式 在說明電子管可以作為萬能阻抗（即靠電子管能得到任何形式的阻抗）以前，讓我們先回憶一下現有的阻抗形式。

任何阻抗，或具有兩個端子的電路都稱為兩端網絡。任何振盪器也都是兩端網絡（有源的兩端網絡）。如果除了阻抗以外，在兩端網絡中還有振盪器，那末它就稱為有源兩端網絡。沒有振盪器的兩端網絡，則稱為無源兩端網絡。

任何兩端網絡都可用下述的兩個關係來表徵：

1. 電流與加至此網絡的電壓之間的關係（伏安特性曲綫）
 $I = \varphi(U)$;

2. 當加至此網絡的交流電壓固定時，即 $U = \text{常數}$ 時，電流與頻率之間的關係 $I = \varphi(f)$ 。

伏安特性曲綫表示：該阻抗是綫性的，還是非綫性的；是正的，還是負的。它又表示：阻抗的大小與通過此阻抗的電流或所施的電壓有關，還是無關；而如果有關，那末又是怎樣的關係。

綫性阻抗上的電壓降與通過此阻抗的電流的大小成正比。這種阻抗的伏安特性曲綫可用直綫來表示（圖 3.a）。此阻抗的大小 $R = \frac{U}{I}$ 是由特性曲綫傾角 α 的餘切決定的，而與流過阻抗的電流

的大小無關。

非綫性阻抗的伏安特性曲綫是一根曲綫，如圖 3.6 所示。這種

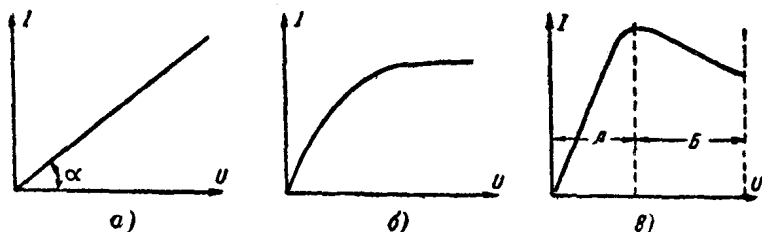


圖 3. 阻抗的伏安特性曲綫

a—綫性的；b—非綫性的；c—負的（在區域B內）。

阻抗的大小是隨電流的變化或外加電壓的變化而變更；如果算一下圖 3.6 曲綫上各點的比值 $\frac{U}{I} = R$ ，或者量一下曲綫上各點的傾角，就會證明這一點。

例如，鉄心接近飽和狀態的電感綫圈，具有其介質常數與外加電壓有關的特殊電介質（例如鈦酸鋇）的電容器等都是非綫性電抗。

上面所討論的阻抗稱為正阻抗。電壓降是隨流過它們的電流的增加而增大。如果在阻抗上的電壓降是隨流過它的電流的增加而減小，那末它就稱為負阻抗。圖 3.6 所示的是這種阻抗中的一種伏安特性曲綫。此阻抗在區域B內是負的；因為在此區域內，電流隨外加電壓的增高而減小。

如果將負阻抗與某一個正阻抗串聯地接入電路中，那末在此電路中電流的增加，將使負阻抗上的電壓降減小。相應地，此將使正阻抗上的電壓降增大；這是因為在正阻抗和負阻抗上的電壓降的總和是不變的。因此，負阻抗並未消耗能量，而是好像將自己的能量送給了電路。所以它就稱為是負的。事實上，在有負阻抗的電路

中，只有這電路中所具有的電流源的能量在起作用，而負阻抗則是幫着將此能量在電路各元件之間確定地重新分配一下。

負阻抗的概念是在 1918 年由蘇聯無綫電技術的創始人之一 $M \cdot A \cdot$ 崩奇-布魯也維奇教授提出的。

流過阻抗的電流與頻率之間的關係，表徵了阻抗的頻率特性。按照它們的頻率特性，阻力又可分為電阻、電抗和阻抗三種。電阻把電能消耗掉，而電抗却在某一瞬間把電能儲存起來，而在另一瞬間又將此電能送回給發電機。電抗的概念僅對交流電壓或對在接入或斷開直流電壓時的瞬態有用。阻抗有兩種成分：電阻和電抗。它好像是由兩種類型的阻力組成的。

大家都知道，電抗有電容性和電感性兩種。實際上，不含任何電阻成分的純電抗是沒有的，因為任何一個電抗總要消耗一些能量，雖然消耗得並不多。例如，在電感綫圈中，能量消耗在導綫的發熱上，而在電容器中，能量則消耗在介質中。

同時，電抗或阻抗也可能是非綫性的。

大家都知道，當交流電路中有電抗（即電容或電感）接入時，在電流與加至此電抗的電壓之間就產生了相應的相移。此外，電容或電感所呈現的電抗之大小與頻率有關；例如，電容的電抗隨頻率的增高而減小，而電感的電抗則隨之而增加。

藉電子管可以產生一個這樣的兩端網絡：它能使交流電路中的電流與電壓之間產生一個猶如在該電路中接了一個電感時一樣的相位差，但其電抗則隨頻率的增高而減小。這種兩端網絡稱為負電容或反電感。同時，藉電子管也可以產生另一種兩端網絡：它能使交流電路中的電流與電壓之間產生一個猶如在該電路中接了一個電容時一樣的相位差，但其電抗則隨頻率的增高而增大。此兩端網絡被

稱為負電感或反電容。

爲了要說明如何利用電子管來產生這樣的兩端網絡，讓我們先來研究一下兩個阻抗並聯時的情形；此兩個阻抗中一個是電阻，而另一個是電抗。

我們將討論阻抗並聯的兩種情形：一種情形是電感線圈 L 與電阻 R 並聯（圖4.a）；另一種情形是電容器 C 與電阻 R 並聯（圖4.6）。

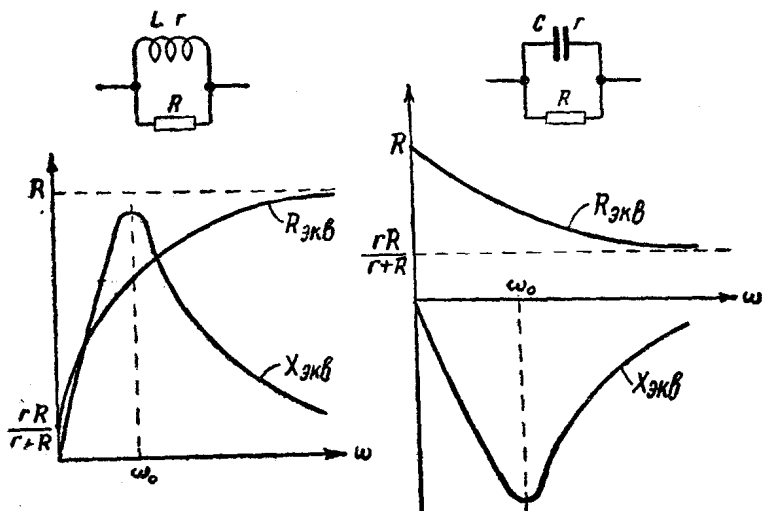


圖 4. 兩種並聯阻抗電路的等效阻抗 $R_{экв}$ 和 $X_{экв}$ 與頻率的關係

假定電感線圈和電容器具有損耗；於是就好像有一個不大的電阻 r 各與它們的純電抗串聯着。

現在讓我們來討論此兩個兩端網絡的等效電抗值和等效電阻值與頻率間的關係。當頻率極低時，圖4.a電路的等效電抗 $X_{экв}$ 很小；這是因為 $\omega L \ll R$ ，而電感幾乎對電流沒有影響。隨着頻率的增高，此影響將會增大，同時 $X_{экв}$ 也將增大。在某一頻率 $\omega = \omega_0$ 時， ωL

的大小與 R 的大小變得相等。當頻率 ω 再繼續增高時，電阻 R 對電感繞圈的分路作用越益增大，因此 X_{gks} 減小。

此電路的等效電阻 R_{gks} 將隨頻率的增高而增大，並趨近於數值 R 。

在頻率低時，圖 4.6 電路的等效電抗 X_{gks} 很小；這是由於在此情況下電流實際上只決定於通過 R 的電流。隨着頻率的增高，流經電容支路的電流將增大，同時 X_{gks} 也增大。此後，當頻率 $\omega = \omega_0$ 時，流經 R 和電容支路的電流變成相等。當頻率再繼續增高時， X_{gks} 就會減小；這是因為阻抗 $\frac{1}{\omega C}$ 變得小於 R ，於是減弱了後者的分路作用。

此電路的等效電阻 R_{gks} ，在頻率 $\omega = 0$ 時，等於 R ；這是因為此時電容支路的阻抗等於無窮大，於是電流就不能通過它 R_{gks} 將隨頻率的增高而減小。

上面所討論的含有 L 、 r 和 R 的兩端網絡，在頻率大於 ω_0 時，是負電容，而由 C 、 r 和 R 所構成的兩端網絡，在頻率小於 ω_0 時，是負電感。

當單級電子管電路中採用了電抗性回授時，電子管屏極交流電壓與屏極交流電流之間就會產生相移。這樣，電子管將成為一電抗；此電抗等於電子管的交流電壓降與交流電流之比值。因為電子管的內阻 R_i 具有某些分路作用，所以在個別的情況下，此內阻可以使電子管相當於一個負電抗。

也可以使電子管處於這樣的一種狀態：在此狀態下，它將為一非綫性阻抗。靠了回授和電子管的工作點選用在特性曲綫的非直綫部分，就可做到這點。

各種不同回授形式的電子管作為阻抗 在圖 5.a 的電路中圖示着電子管 A 、它的電源 E_k 、 E_c 和 E_a 及回授係數為 β 的電壓回授電路。