

高頻通信 電路設計

主動網路

袁 杰 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

高頻通信電路設計

主動網路

袁 杰 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

高頻通信電路設計：主動網路／袁杰編著．
-- 初版．-- 臺北市：全華，民81
面； 公分
ISBN 957-21-0241-9（平裝）

1. 通訊工程
448.73

81004131

法律顧問：蕭雄淋律師

高頻通信電路設計——主動網路

袁 杰 編著

定價 新台幣 300 元

初版一刷 / 81年 9 月

圖書編號 0112224

版權所有·翻印必究

出版者 / 全華科技圖書股份有限公司

地址：台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836—1號

發行人 / 陳 本 源

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

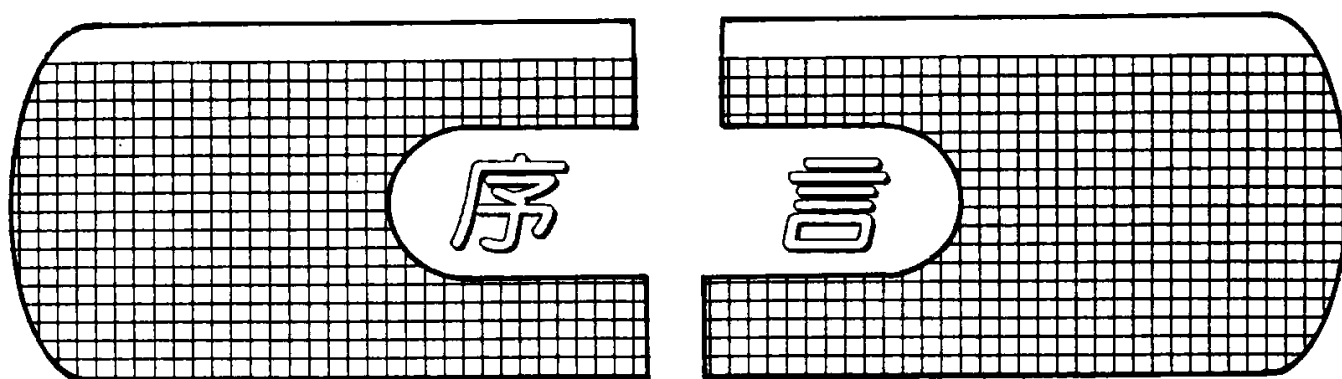
ISBN 957-21-0241-9

我們的宗旨：

提供技術新知
帶動工業升級
為科技中文化再創新猷

資訊蓬勃發展的今日，
全華本著「全是精華」的出版理念
以專業化精神
提供優良科技圖書
滿足您求知的權利
更期以精益求精的完美品質
為科技領域更奉獻一份心力！

為保護您的眼睛，本公司特別採用不反光的米色印書紙！！



《高頻通信電路設計——主動網路》一書，為前已出版的《高頻通信電路——被動網路》後續之作。二書內容上下連貫前後呼應，皆以分析相關高頻電路的特性，並提供必要的設計概念，以及有效的設計程序為主。

全書共五章。小信號放大部份分兩章討論，一為小信號放大器的 y - 參數設計，內容自偏壓設計開始，隨之討論主動元件，以線性主動網路取代的概念及其應用。再應用 y - 參數的線性主動網路模式，建立不同穩定條件的放大器的設計程序。

第二章為小信號放大器的林維爾法設計，以及應用 S - 參數的設計。林維爾法為一圖解設計程序，高頻放大電路的穩定性，增益與負載之間的關係，可藉圖解清晰表出，應用圖解的設計程序簡捷有效。應用 S - 參數的設計，為現代高頻電路設計的主要技術，在高頻主動元件中， S - 參數可以精確的經量測取得，是為這一設計技術最大的優點。 S - 參數設計亦屬圖解設計之一。

第三章為線性功率放大器，討論放大器因非線性而引起的失真，以及消除失真的基本方法。並就功率放大器的設計概念，提供實用的線性功率放大的設計方法。最後介紹有關的導熱設計。

第四章調諧功率放大器，是為相對於線性放大，且亦為最常用的非線性放大器。應用相關的設計用圖表，以輸入信號的導通角，計算輸出功率、放大效率，以及功率消耗等設計參數。並且介紹高次諧波抑止網路，以及匹配網路的設計等，再以設計實例說明設計程序及考量重點。

第五章高效率功率放大器，是為一非線性放大電路。基本上是藉信號放大的高失真度，以換取高效率的放大特性。內容以介紹最常用的D類及S類放大器為主。

《高頻通信電路設計》系列二書，編寫目的在介紹高頻電路的設計概念，並提供實務設計的方法，程序以及相關的考量與取捨，可用為電子工程人員，在高頻電路設計方面的主要參考。



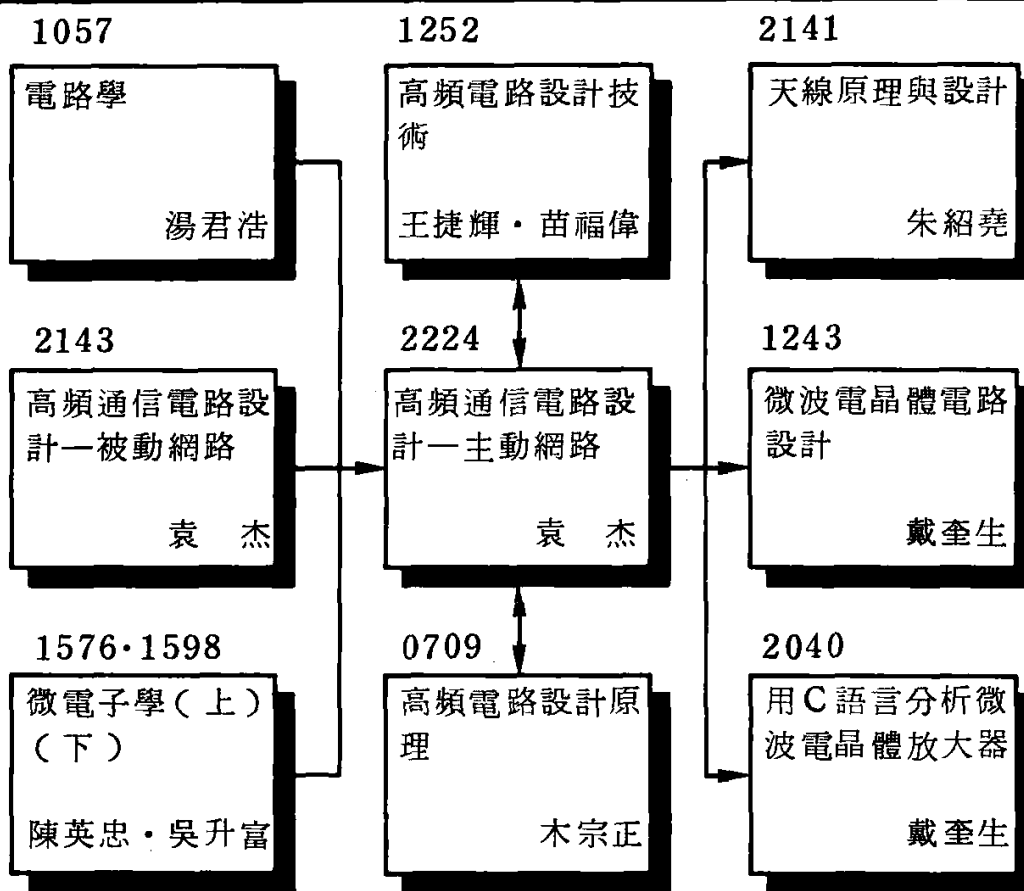
編輯部序

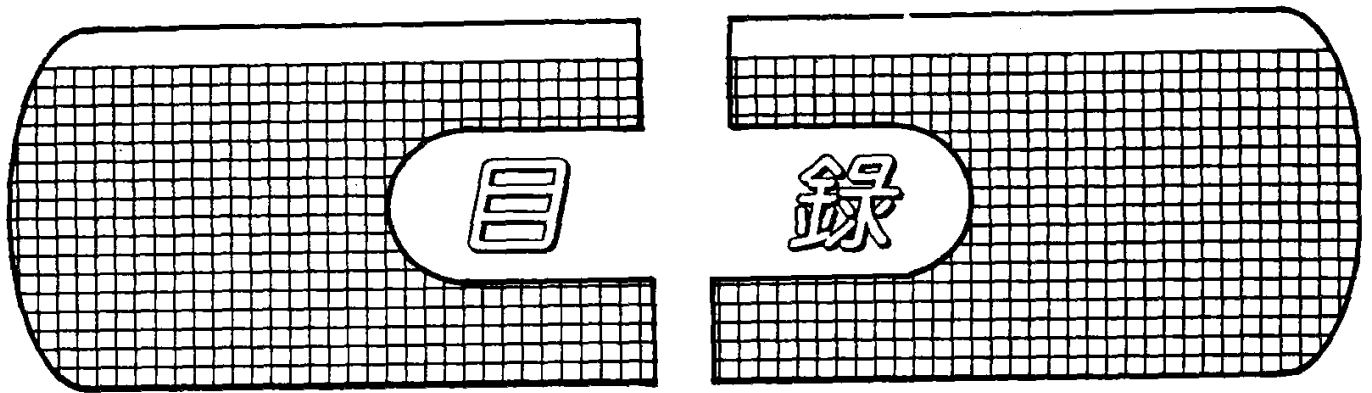
「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書內容包括小信號放大器、線性功率放大器、調諧功率放大器、高效率功率放大器等之設計，可使讀者瞭解高頻電路的特性與應用，同時具有高頻設計的能力；若能與「高頻通信電路設計——被動網路」配合教學，更是絕佳組合。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流程圖





1	小信號放大器——應用y-參數的設計	1
1-1	偏壓設計	2
1-2	小信號放大器的定義	13
1-3	雙埠網路的基本概念	18
1-4	主動元件的等效模式	30
1-5	應用 y - 參數設計	35
1-6	放大器的功率增益	39
1-7	應用無條件穩定主動元件的設計	43
1-8	應用潛在性不穩定主動元件的設計	53
	附錄 A 電晶體 y - 參數技術資料	67
2	小信號放大器圖解設計——林維爾圖 設計及S-參數設計	77
2-1	基本概念	79
2-2	功率增益方程式	80
2-3	穩定性	90

2-4	林維爾圖的基本結構	95
2-5	林維爾圖的繪製及應用程序	106
2-6	主動元件為無條件穩定或潛在性不穩定的設計	118
2-7	S- 參數的定義	127
2-8	S- 參數圖解設計	132
2-9	最佳雜訊度的設計	142
2-10	設計案例	143
附錄 B	電晶體 S- 參數技術資料	167

3 線性功率放大器 179

3-1	線性放大的特性	180
3-2	A類功率放大器	185
3-3	變壓器交連的 A類放大器	197
3-4	以方波輸入的 A類功率放大器	200
3-5	B類功率放大器	203
3-6	互補電晶體推挽式放大	212
3-7	飽和效應及電抗性負載	215
3-8	互調失真與偏壓	221
3-9	驅動電路與高頻回授	227
3-10	寬頻帶阻抗轉換電路	236
3-11	導熱設計	243
附錄 C	FET CP650/CP651 技術資料——導通 電阻 R_{on}	247

4	調諧功率放大器	251
4-1	C類功率放大器	253
4-2	大信號阻抗	264
4-3	偏壓與驅動設計	268
4-4	阻抗匹配設計	273
4-5	高次諧波抑制網路	281
4-6	倍頻電路	285
4-7	功率放大器設計實務	292
4-8	功率放大器設計實例	299
	附錄 D 常用阻抗匹配網路設計	317
5	高效率功率放大器	339
5-1	D類放大——理想的工作狀況	341
5-2	實際的D類功率放大器	356
5-3	S類放大	369



1

小信號放大器

——應用 y -參數的
設計

2 高頻通信電路設計——主動網路

小信號放大器 (small signal amplifiers)，顧名思義是專用於放大微弱信號的放大電路，通常都將其歸類於線性的 A 類放大。這類放大器的特性要求，在信號的頻寬方面，包含電視視頻信號的寬頻帶放大，以及通信系統中的高頻，或中週頻率的窄頻帶放大。有關放大的增益方面，由於進入輸入端的信號甚為微弱，因此放大增益要求甚高，更要求為低雜訊高增益的放大，以提升信號對雜訊的比值。同時，還要考慮放大器工作的穩定性，設計一個放大電路，往往會成為振盪器的結果，幾乎是每一個電路設計者，多少都會有過的經驗。頻寬 (bandwidth)，增益 (gain)，雜訊 (noise)，以及工作的穩定性 (stability) 是小信號放大器設計的重點。

本章的主要內容，在配合高頻特性，不再沿用電晶體的等效電路，而將電晶體視作一組線性主動網路 (LAN, linear active network)，用為設計放大器的主要工具。應用雙埠網路 (two-port network) 理論，並以適合高頻信號測試的 y - 參數，或稱為導納參數 (admittance parameters)，以及 S 參數，或稱為散射參數 (scattering parameters) 者，為代表雙埠網路特性的相關參數。

以電晶體組成的線性主動網路，其所呈現的 y - 參數，或 S - 參數值，決定於網路中的信號頻率，以及主動元件的偏壓條件。為使實際放大器的工作特性，不會受到環境影響，而使偏壓漂移，以能符合理論設計，將先就如何設計適當的偏壓開始，略加復習以為參考。

1-1 偏壓設計

偏壓設計工作，在高頻放大器的設計過程中，經常為電路設計者所忽

略，由於電晶體的工作特性，會隨信號頻率而變，同時會隨環境條件，尤其是溫度的變化，而有所變異。藉由適當的偏壓設計，以使主動元件的特性參數，受溫度變化的影響減至最低，以能保持恒定的直流工作條件，是為小信號放大器設計的基本程序。

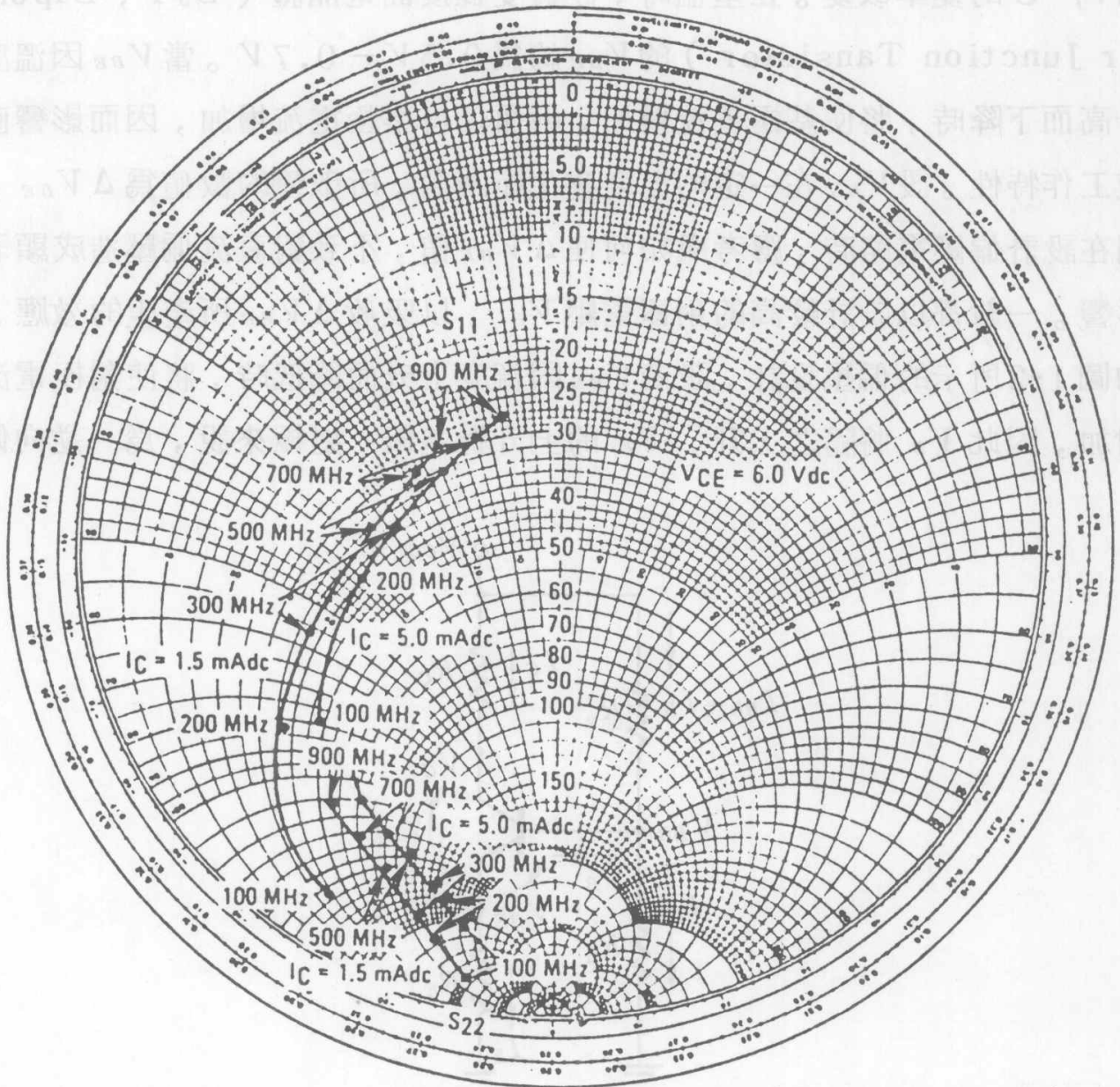


圖 1-1 隨頻率及偏壓而變的 S - 參數

4 高頻通信電路設計——主動網路

如圖 1-1 所示，為電晶體 2N5179 S- 參數中的 S_{11} 及 S_{22} ，隨信號頻率及偏壓的不同，所形成的變化曲線。

由電晶體的結構特性可知，電晶體基極與射極的接面電壓 V_{BE} ，以及 β 值都會隨溫度的變化而改變。其中 V_{BE} 將隨溫度升高而降低，以 $2.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 的變率改變。在室溫時，矽質雙極接面電晶體（BJT, Bipolar Junction Transistor）的 V_{BE} 約為 $0.5\text{V} - 0.7\text{V}$ 。當 V_{BE} 因溫度升高而下降時，將使基極電流增加，轉而使得集極電流增加，因而影響直流工作特性。設 V_{BE} 在一定的溫度變化範圍內，所改變的數值為 ΔV_{BE} ，則在設計偏壓電路時，應考慮如何使 ΔV_{BE} 值，不致對直流偏壓造成顯著影響。一般都以設計較高的射極電壓 V_E ，以吸收 ΔV_{BE} 所產生的效應。如圖 1-2 所示的偏壓設計，設若 V_{BE} 因溫度上升而降低時，將使射極電流增加，因此 V_E 將隨之上升， V_E 的上升對基極 - 射極來說，為一逆向偏

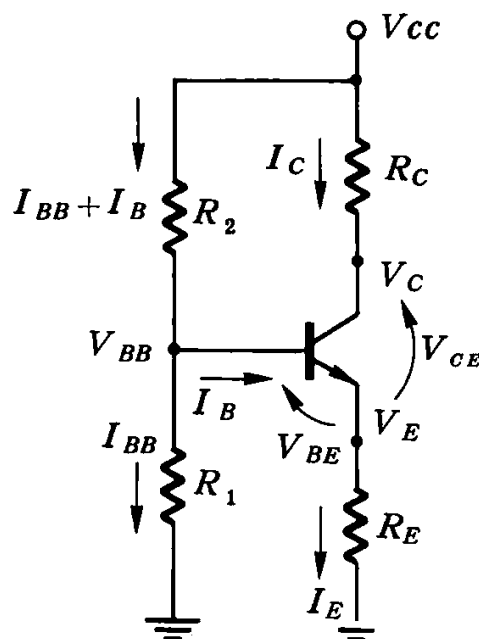


圖 1-2 偏壓網路設計之一

壓的增加，將使集極電流 I_C 下降。 V_{BE} 下降的效應，會被 V_E 的上升所抵消，使得集極電流，不致隨溫度上升而增加。 V_{BE} ， V_E ，以及 I_C 三者的變化效應，可以 (1-1) 式表之

$$\Delta I_C \simeq -\frac{\Delta V_{BE}}{V_E} I_C \quad (1-1)$$

式中 ΔI_C = 集極電流的增量，mA

I_C = 靜態集極工作電流，mA

ΔV_{BE} = 基極 - 射極電壓的增量，mV

V_E = 靜態射極電壓，mV

由 (1-1) 式可知，設若 V_E 值為 ΔV_{BE} 值的 20 倍時，集極電流隨溫度而變的增量，僅在 5% 左右。而這類偏壓電路設計的重點是在 V_E ，而不是在射極上的電阻 R_E 。在電阻 R_E 上應加上一旁路電容，以避免信號的耗損。

圖 1-2 偏壓網路設計程序

1. 設定電晶體的靜態（直流）工作點

$$I_C = 10 \text{ mA}, V_C = 10 \text{ V}, V_{CC} = 20 \text{ V}, \beta = 50$$

2. 設 $V_E \geq 10 \Delta V_{BE}$

$$V_E = 2.5 \text{ V}$$

3. $\beta = 50$ ，設 $I_E \simeq I_C$

4. 已知 I_E 及 V_E ，計算 R_E

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{2.5}{10 \times 10^{-3}} = 250 \Omega$$

6 高頻通信電路設計——主動網路

5. 已知 V_{CC} , V_C 以及 I_C , 計算 R_C

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{20 - 10}{10 \times 10^{-3}} = 1 \text{ k}\Omega$$

6. 已知 I_C 及 β , 計算 I_B

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10}{50} \text{ mA} = 0.2 \text{ mA}$$

7. 已知 V_E 及 V_{BE} , 計算 V_{BB}

$$V_{BB} = V_E + V_{BE} = 2.5 + 0.7 = 3.2 \text{ V}$$

8. 設定 I_{BB} 。爲使電晶體的輸入阻抗，對偏壓網路不會有過度的負載效應，應使 I_{BB} 值較大，但是爲求不使直流消耗過大， I_{BB} 亦不宜太大。設 $10 I_B \geq I_{BB} \geq 5 I_B$ ，得

$$I_{BB} = 1.5 \text{ mA}$$

9. 已知 I_{BB} 及 V_{BB} , 計算 R_1

$$R_1 = \frac{V_{BB}}{I_{BB}} = \frac{3.2}{1.5 \times 10^{-3}} = 2.133 \text{ k}\Omega$$

10. 已知 V_{CC} , V_{BB} , I_{BB} 及 I_B , 計算 R_2

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{BB}}{I_{BB} + I_B} = \frac{20 - 3.2}{1.7 \times 10^{-3}} = 9.882 \text{ k}\Omega$$