

**DÜŞÜK GERİLİM DEVRELERİ
VE SİMÜLASYON PROGRAMLARI İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mesut BİROL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :10 Haziran 1991

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Temmuz 1991

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hakan KUNTMAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Duran LEBLEBİCİ

: Yrd. Doç. Dr. Cevdet IŞIK

**T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

TEMMUZ 1991

19270

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması sırasında yakın ilgi ve desteklerini gördüğüm, yapıcı uyarıları ile çalışmalarına yön veren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hakan KUNTMAN'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mesut BİROL



İÇİNDEKİLER

OZET	1v
SUMMARY	v
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. DÜŞÜK GERİLİMLE ÇALIŞABİLEN DEVRE YAPILARI VE SİMÜLASYONU	3
2.1 Referans Gerilimi Üretici Devresi	5
2.1.1 El Analizi-VREF Çıkış Gerilimi	6
2.1.2 G.E.M Parametreleri ile VREF	14
2.1.3 Spice Parametreleri ile VREF	15
2.1.4 Ölçme Sonuçları	16
2.1.5 Spice Analizi ve Sonuçları	17
2.1.6 G.E.M Analizi ve Sonuçları	20
2.2 Düşük Gerilimle Beslenen Darlington Devresi	23
2.2.1 DC El Analizi ve $I_c=f(I_B)$	23
2.2.2 Küçük İşaret El Analizi ve $i_c=f(i_b)$	26
2.2.3 G.E.M Parametreleri ile $I_c=f(I_B)$	29
2.2.4 Spice Parametreleri ile $I_c=f(I_B)$	30
2.2.5 G.E.M ve Spice Parametreleri ile $i_c=f(i_b)$	30
2.2.6 DC Çıkış Gerilimi ve v_o/v_g Gerilim Kazancı	30
2.2.7 Ölçme Sonuçları	31
2.2.8 Spice ve G.E.M Analizlerinin Sonuçları ..	32
2.3 Ön Kuvvetlendirici Devresi	36
2.4 Gerilim Kontrollü Kuvvetlendirici Devresi ..	37
2.5 Hattan Hatta Çıkış Dalgalanmalı Ön Kuvvet- lendirici	38
BÖLÜM 3. DÜŞÜK GERİLİMLE BESLENEN DEVRE YAPILARININ SİMÜLASYONLARINDA KULLANILAN MODEL PARAMET- RELERİNİN BELİRLENMESİ	40
3.1 Model Parametrelerinin Belirlenmesi	44
3.1.1 I_s Parametresinin Belirlenmesi	44
3.1.2 β_{FM} Parametresinin Belirlenmesi	44
3.1.3 NEL ve C_2 Parametrelerinin Belirlenmesi ..	45
3.1.4 I_{kf} ya da θ Parametresinin Belirlenmesi ..	46
3.1.5 V_{AF} Parametresinin Belirlenmesi	47
3.1.6 M , N ve R_{CB} Parametrelerinin Belirlenmesi ..	47
3.1.7 G.E.M Parametrelerinden Bir Kısımının SPICE Parametrelerinden Elde Edilmesi ...	47
SONUÇ ve ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	130

OZET

DÜŞÜK GERİLİM DEVRELERİ VE SİMÜLASYON PROGRAMLARIYLA ANALİZLERİ

Günümüzde devre simülasyon programları tasarımcılara hem zaman bakımından hem de ekonomik yönden çok yararlı olmaktadır. Bu programlarla hiç bir harcama yapmadan düşündüğünüz tasarımları yapabilir, değiştirebilirsiniz.

Ancak yapılan bu analizlerin, doğruluklarının iyi olması gerekir ki tasarımların gerçekleştirilmesi safhasında gereksiz harcama yapılmamış olsun. Bunun için kullanılan simülasyon programının analizler için yeterli olduğu kabulü ile devredeki elemanları temsil edecek model parametrelerinin doğru olarak verilmesi gerekir. Bu da üretimde kullanılan devre elemanlarının parametrelerinin iyi bir doğrulukla belirlenmesi ile mümkün olur.

Bu çalışmada EXAR B101-NPN ve EXAR B102-PNP bipolar tranzistorlarının, SPICE, TIME-1 ve SPICE-3C simülasyon programlarında kullanılan model parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerden düşük gerilimle beslenen devrelerde baskın olan parametreleri alınarak birkaç düşük gerilim devresinin analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarıyla karşılaştırmak ve analizlerde kullanılan simülasyon programlarının nasıl yakınsadığını görmek açısından da devrelerin laboratuvar ölçümleri yapılmıştır.

SUMMARY

LOW-VOLTAGE CIRCUITS AND ANALYSIS WITH SIMULATION PROGRAMS

Computer-aided design (CAD) enables the circuit designer to do things which are not possible with other techniques. Using the computer, he can :

Observe waveforms and frequency responses of voltages and currents without loading the circuit as a probe would in an actual circuit.

Predict the performance of an IC at high frequencies, without the parasitics a breadboard introduces.

Use ideal devices selectively, such as one with an infinite bandwidth or a very large gain, to isolate the effects of various device parameters on the circuit performance or to do futuristic "blue sky" analysis.

Feed into a circuit ideal waveforms, such as extremely fast pulses or a mixture of pulses and sinusoids.

Separate out dc circuitry in order to understand the basic part of the circuit.

Open a feedback loop without disturbing the dc levels.

Determine the poles and zeros of a transfer function for even large circuits.

Do noise , sensitivity, worstcase and statistical analysis.

The circuit designer today has programs available which allow him to do a wide variety of analysis. However, the different programs with their differing input formats, rules, notations and device models can be very confusing and discouraging to the inexperienced user. Fortunately, the program input formats and rules are normally well documented, so if mistakes are made they are relatively easily detected (either by the computer, the program or the user). The biggest problem, however, lies in the lack of standardization of the notation and device models being used and the measurement of the model parameters.

The model parameters are those parameters used in the model equations to describe the device for a given set of operating conditions. Some programs are very flexible and allow some model parameters to be specified indirectly.

EM2, EM3, GP are non-linear models which are based on the EM1, Ebers-Moll model.

EM1 is the original Ebers-Moll model. It is a non-linear dc model only.

EM2 is the next level of complexity. With the EM1 model as its basis, it provides a first order model of the non-linear charge-storage effects and ohmic resistance.

EM3 is the third level of complexity. It includes such second-order effects as basewidth modulation, β and τ_F variations with current, a better representation of the distributed collector-base junction capacitance and an improved temperature dependence.

GP is the Gummel-Poon model as implemented in the program SPICE. It differs from the Integral Charge-Control model by Gummel and Poon mainly in the input parameters required

and the absence of base push out modeling. With respect to the effects that are modeled in both the EM3 and GP models, the two models are basically equivalent.

The usefulness of the different models can be summarized ;

EM1 MODEL : This model is very useful for first-order dc analysis.

EM2 MODEL : For most applications (especially with digital circuits) the EM2 model represents a good compromise between accuracy, ease understandable results. It is the model most often used.

EM3 and GP MODELS : These models should only be used when the extra accuracy they afford is necessary.

A program may allow the user to specify some parameters from EM1, some from EM2 and some from EM3. In the programs any parameter not specified by the user has a default value. If no parameters are specified, the resulting model is the EM1 model.

In this thesis SPICE, [16] TIME-1 [8], [15] and SPICE-3C [17] programs are used. Spice simulation program is based on modified GP model, TIME-1 and SPICE-3C (BSPICE) simulation programs are based on new modified Ebers-Moll model [8], [9], [10].

In low-voltage circuit analysis it is used parameters which are I_S , β_F , N_F , V_{AF} , I_{SE} , N_E , I_{KF} , R_B , R_C and R_C as given Table-1 for SPICE, I_{SO} , β_{FO} , M , N , C_2 , N_{EL} and R_{CB} as given Table-2 for TIME-1 and I_S , β_F , N_F , M_F , M_{JC} , C_2 , N_E , I_{KF} , R_B , R_C , R_E and R_{CB} as given Table-3 for SPICE-3C (BSPICE).

TABLE-1 Parameters that use in analysis of low-voltage circuits for SPICE Simulation Program.

	E2-Q2 B101-NPN	1-Q1 B102-PNP	BİRİM
I_S	$4,4. 10^{-16}$	$4,825. 10^{-16}$	A
β_F	207	61	-
N_F	1	1	-
V_{AF}	85	20	V
I_{SE}	$202. 10^{-15}$	$4,5. 10^{-15}$	A
N_E	1,86	1,426	-
I_{KF}	$26,88. 10^{-9}$	$0,1. 10^{-9}$	A
R_B	75	50	Ω
R_C	30	225	Ω
R_E	3	16,4	Ω

TABLE-2 Parameters that use in analysis of low-voltage circuits for TIME-1 Simulation Program.

	E2-Q2 B101-NPN	1-Q1 B102-PNP	BİRİM
I_{SO}	$4,45. 10^{-16}$	$6. 10^{-16}$	A
β_{FO}	160,6	37,1	-
M	0,025	0,025	-
N	0,69	0,72	-
C_2	777	7	-
N_{EL}	1,9	1,45	-
R_{CB}	23	9,7	M Ω

TABLE-3 Parameters that use in analysis of low-voltage circuits for SPICE-3C Simulation Program.

	E2-Q2 B101-NPN	1-Q1 B102-PNP	BIRIM
I_S	$4,355 \cdot 10^{-16}$	$4,755 \cdot 10^{-16}$	A
β_F	202,5	59,2	-
N_F	1	1	-
M_F	0,028	0,039	-
M_{JC}	0,433	0,46	-
C_2	464,2	9,46	-
N_E	1,86	1,426	-
I_{KF}	$26,88 \cdot 10^{-9}$	$0,1 \cdot 10^{-9}$	A
R_B	75	50	Ω
R_C	30	225	Ω
R_E	3	16,4	Ω
R_{CB}	29,41	50	M Ω

To measure the basic model parameters β_F , I_{SO} , the classical measurement techniques are used [11]. To determine the other model parameters M , N , C_2 , N_{EL} and R_{CB} , new methods which are presented [6] are used. Parameters that are not specified has a default value.

All of the large signal parameters are obtained from $\ln(I_C)$, $\ln(I_B)$ versus V_{BE} curve for $V_{CB}=0$ as given fig-1, from β_F versus $\ln(I_C)$ curve as given fig-2 and from the variations of the h-parameters with the collector current and with the collector-emitter voltage. From the β_F versus $\ln(I_C)$ curve, β_{F0} and from $\ln(I_C)$ versus V_{BE} curve, I_{SO} are obtained directly. Using the variations of the measured h-parameters with I_C and V_{CE} , the model parameters M and R_{CB} can be determined. With computer programs

C_2 , N_{EL} model parameters are determined.

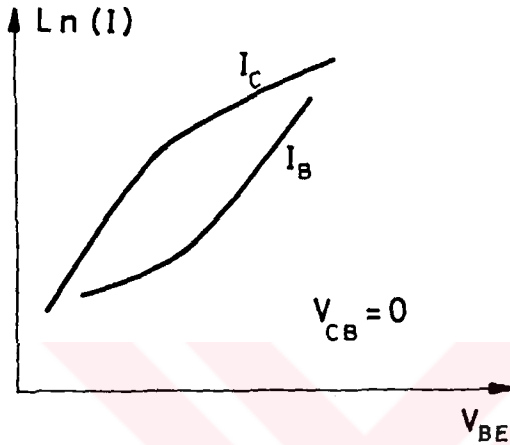


Figure-1 $\text{Ln}(I_C)$ and $\text{Ln}(I_B)$ versus V_{BE} curve.

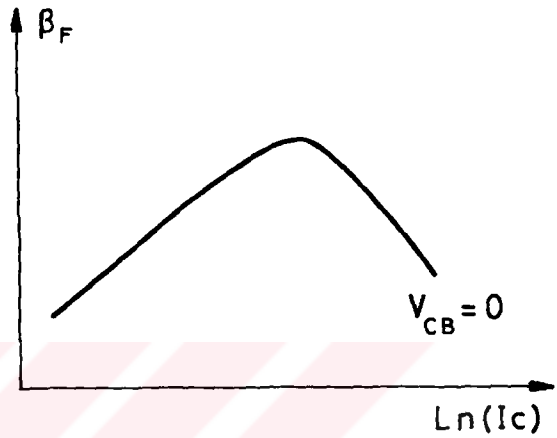


Figure-2 β_F versus $\text{Ln}(I_C)$ curve.

In this thesis measurement of model parameters which are used in low-voltage circuits is given in Section-3. In Section-2 low-voltage circuits and analysis of these with simulation programs are given and are discussed.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Düşük gerilimle beslenen yapıların günümüzde çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Bunların arasında beden ölçürlü kişilerin kullanımına yönelik düzenler sayılabileceği gibi çeşitli uygulamalar açısından bir zorunluluk olan, az yer kaplayan minyatür düzenlerde yer almaktadır. 1.3 volt gibi düşük gerilimli bir güç kaynağından beslenmek üzere öngörülen bu düzenler için özel bir devre tekniği ve özel devre topolojileri geliştirilmiştir [1], [2] [3]. Düşük gerilimli devre düzenleri kapsamında çeşitli kuvvetlendirici yapıları, referans üreteçleri, osilatörler vb. düzenler bulunmakta, çeşitli tümdevre üreticileri tarafından bu tür devre düzenleri yarı özel ve özel tümdevre tekniği ile tasarlanıp üretilmektedir.

Düşük gerilimli devrelerin tasarımında SPICE programı gibi simülasyon programlarının kullanılmasının tasarımcıya büyük kolaylık sağlayacağı açıktır [4]. Devre simülasyon programları, el ile analizlerinin yapılması mümkün olmayan devre yapılarının analizlerini yapmak için geliştirilmiş bilgisayar programlarıdır. Bu programlarla yapılan analizlerin doğru olabilmesi için devre yapısında yer alan lineer olmayan elemanların tanımlanmasının iyi yapılması gerekir. Bu da elemanın tanımlanmasında kullanılan modelin doğru olması ve model parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi ile mümkün olabilir.

Bipolar tekniği ile gerçekleştirilecek devrelerin SPI-CE simulasyonunda, bu programda kullanılan değiştirilmiş Gummel-Poon modelinin Early olayını geometrik bir yaklaşımla temsil etmesinin ve bazı fiziksel olayları içermemesinin bir sonucu olarak, doğruluk açısından bazı problemlerle karşılaşılmaktadır. Öte yandan elemanın fiziğinden hareketle yapılan çalışmalar sonucunda yüksek doğruluklu bir model geliştirilmiş ve (GEM), Geliştirilmiş Ebers-Moll modeli olarak isimlendirilen bu model için de bir simulasyon programı yazılmıştır [5], [6], [7], [8].

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, SPICE BJT modelinin matematiksel biçimi ile GEM modelinin sağladığı yüksek doğruluk bir araya getirilecek şekilde SPICE BJT modeli yeniden düzenlenmiş, ortaya çıkan yeni model SPICE-3C programına yerleştirilerek bu modelle devre simulasyonu olanağı sağlanmıştır [9], [10].

Bu tezde EXAR-B101 npn ve EXAR-B102 pnp dizileri için standart SPICE modeli ve GEM modeli parametreleri dşuk gerilim bölgesi için belirlenmiş, dşuk gerilimle beslenen önemli temel devre yapıları her iki model yardımıyla analiz edilmiş, analizlerde kullanılan modellerin doğruluk derecesini saptamak amacıyla da gerekli laboratuvar olümleri yapılarak sonuçları verilmiş, simulasyon ve olü sonuçları karşılaştırılarak simulasyon için yüksek doğruluklu bir modelin gerekli olup olmadığı tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

DÜŞÜK GERİLİMLE ÇALIŞABİLEN DEVRE YAPILARI VE SİMÜLASYONU

Bu bölümde, düşük gerilimle çalışan beş temel devre ele alınarak standart SPICE simülasyonu ve GEM modeliyle simülasyonu yapılmış, elde edilen sonuçlar ölçü sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. Standart SPICE simülasyonu PSPICE programı yardımıyla yapılmış, GEM modeli ile simülasyon için ise TIME-1 ve SPICE-3C (BSPICE) programlarından yararlanılmıştır.

Simülasyonlarda kullanılan model parametreleri değerleriyle birlikte Tablo-2.1'de verilmiştir.

TABLO 2.1 Düşük gerilimle çalışabilen devrelerin simülasyonlarında kullanılan model parametreleri.

- (a) - TIME-1 Simülasyon Programı için,
- (b) - PSPICE Simülasyon Programı için,
- (c) - BSPICE Simülasyon Programı için.

	E2-Q2 B101-NPN	1-Q1 B102-PNP	BİRİM
I_{SO}	$4,45 \cdot 10^{-16}$	$6 \cdot 10^{-16}$	A
β_{FO}	160,6	37,1	-
M	0,025	0,025	-
N	0,69	0,72	-
C_2	777	7	-
N_{EL}	1,9	1,45	-
R_{CB}	23	9,7	MΩ

(a)

	E2-Q2 B101-NPN	1-Q1 B102-PNP	BİRİM
I_S	$4,4 \cdot 10^{-16}$	$4,825 \cdot 10^{-16}$	A
β_F	207	61	-
N_F	1	1	-
V_{AF}	85	20	V
I_{SE}	$202 \cdot 10^{-15}$	$4,5 \cdot 10^{-15}$	A
N_E	1,86	1,426	-
I_{KF}	$26,88 \cdot 10^{-9}$	$0,1 \cdot 10^{-9}$	A
R_B	75	50	Ω
R_C	30	225	Ω
R_E	3	16,4	Ω

(b)

	E2-Q2 B101-NPN	1-Q1 B102-PNP	BİRİM
I_S	$4,355 \cdot 10^{-16}$	$4,755 \cdot 10^{-16}$	A
β_F	202,5	59,2	-
N_F	1	1	-
M_F	0,028	0,039	-
M_{JC}	0,433	0,46	-
C_2	464,2	9,46	-
N_E	1,86	1,426	-
I_{KF}	$26,88 \cdot 10^{-9}$	$0,1 \cdot 10^{-9}$	A
R_B	75	50	Ω
R_C	30	225	Ω
R_E	3	16,4	Ω
R_{CB}	29,41	50	M Ω

(c)

2.1 Referans Gerilimi Üretici Devresi

Referans Gerilimi Üreteçleri, tasarımcının istediği belirli bir gerilimi üreten devrelerdir. Bu devrelerde,

- 1- Sıcaklık değişiminin çıkış gerilimi, V_{REF} 'e etkisi,
- 2- Yuklemenin V_{REF} 'e etkisi,
- 3- Besleme gerilimindeki değişimin V_{REF} 'e etkisi,

olmamalıdır. Tasarımın iyi olabilmesi için uçunun sağlanması gerekmektedir. Düşük gerilimle beslenen devre tasarımlarında bu koşulların sağlanması daha da önemli olmaktadır.

Günümüzde standart Band-Aralığı (Band-Gap) Referans Gerilimi Üreteçleri 1.3 voltluk besleme gerilimi ile çalışabilecek şekilde tasarlanabilir ve güç kaynağı olarak Nikel-Kadmiyum pilleri kullanılabilir. Nikel Kadmiyumun kullanılmasıyla besleme katı,

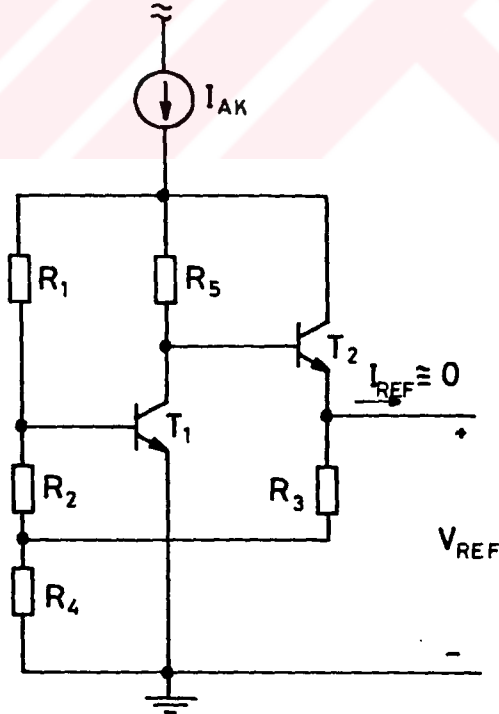
- 1- Cihazda fazla yer işgal etmez,
- 2- Cihaza ağırlık getirmez,
- 3- (1) ve (2)'den oturu cihaza taşınabilirlik özelliği kazandırır.
- 4- En önemlisi, pilin tekrar doldurulup kullanılabilme özelliğinden pil tüketimi yapılmaz. Bu da cihaza ekonomik yönde bir kazanç sağlar.

Ancak bazı devrelerde veya tasarımlarda 1.3 volttan daha düşük gerilimle çalışabilecek düşük referans gerilimi üreteçlerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu ihtiyaçları bazı değişikliklerle standart Band-Aralığı Referans Gerilimi Üreteçleriyle karşılamak mümkündür, fakat bu

gereksizdir. Bunun yerine daha düşük gerilimle çalışabilecek şekilde tasarlanmış referans gerilimi üreteçleri kullanmak daha uygundur.

Şekil-2.1'de bu düşünceyle tasarlanmış 200mV Referans Gerilimi Üreteci devresi verilmiştir. Bu devrenin el analizi yapılarak V_{REF} çıkış geriliminin matematiksel ifadesi çıkartılmıştır. PSPICE ve TIME-1 Simulasyon Programları ile analizi, laboratuvarında deney yoluyla ölçümleri yapılmış, elde edilen sonuçlar bu alt bölümde verilmiştir. Ayrıca karşılaştırma kolaylığı için bölümün sonunda Tablo-2.5 karşılaştırma tablosu çıkartılmıştır.

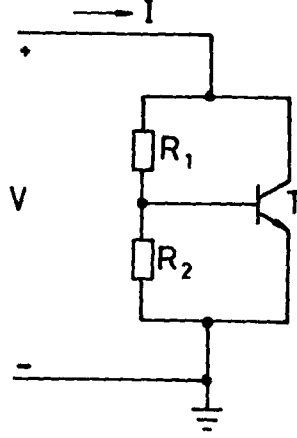
2.1.1 El Analizi- V_{REF} Çıkış Gerilimi



Şekil-2.1 200mV Referans Gerilimi Üreteci.

Şekil-2.1'de verilen devreyi inlecelemeden önce bir

alt devresi olan Şekil-2.2'de verilen devreyi inceleyelim.



Şekil-2.2 V_{BE} Çoğaltmalı Devre ya da Basit Referans Gerilimi Üreteci.

$$I_C = I - I_{R1} \quad (2.1)$$

$$I_{R1} = I_{R2} + I_B \approx I_{R2} + \frac{I_C}{h_{FE}} \quad (2.2)$$

dir. (2.1) eşitliği (2.2)'de kullanılırsa,

$$I_{R1} \approx \frac{(h_{FE} \cdot I_{R2} + I)}{(1 + h_{FE})} \quad (2.3)$$

olur.

$$I_{R2} = \frac{V_{BE}}{R_2} \quad (2.4)$$

dir. (2.4) eşitliği (2.3)'de kullanılırsa,

$$I_{R1} \approx \frac{h_{FE} \cdot V_{BE}}{R_2 \cdot (1 + h_{FE})} + \frac{I}{(1 + h_{FE})} \quad (2.5)$$

olur.

$$V = V_{R1} + V_{R2} = R_1 \cdot I_{R1} + V_{BE} \quad (2.6)$$

dir. (2.5) eşitliği (2.6)'da kullanılırsa,

$$K = \frac{R_1 \cdot h_{FE}}{R_2 \cdot (1+h_{FE})} + 1 \quad (2.7)$$

olmak üzere,

$$V \cong K \cdot V_{BE} + \frac{R_1 \cdot I}{(1+h_{FE})} \quad (2.8)$$

olur.

$h_{FE} \gg 1$ olması durumunda,

$$K = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$V = K \cdot V_{BE} + \frac{R_1 \cdot I}{h_{FE}}$$

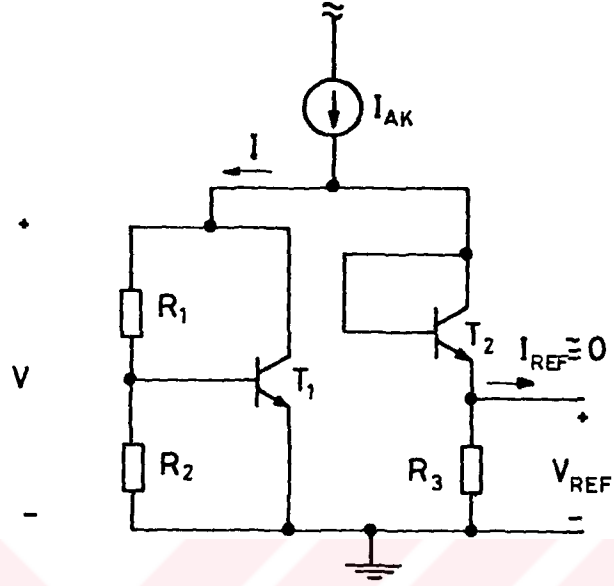
olur. I-akım kaynağının μA 'ler mertebesinde alınması ile ikinci terim birinci terimin yanında ihmal edilebilir.

Bu durumda,

$$V = K \cdot V_{BE} \quad (2.9)$$

olur.

Şimdi Şekil-2.2'de verilen devrenin biraz geliştirilmiş olan Şekil-2.3'deki devreyi inceleyelim.



Şekil-2.3 Düşük Gerilim Referans Üretici.

$$I_{E2} = I_{C2} + I_{B2} = \frac{V_{REF}}{R_3} \quad (2.10)$$

$$I = I_{AK} - I_{E2} \quad (2.11)$$

dir. (2.10) eşitliği (2.11)'de kullanılırsa,

$$I = I_{AK} - (V_{REF}/R_3) \quad (2.12)$$

olur.

$$V = V_{BE2} + V_{REF} \quad (2.13)$$

dir. (2.8) eşitliği (2.13)'de kullanılırsa,

$$V_{REF} = K.V_{BE1} + \frac{R_1.I}{(1+h_{FE1})} - V_{BE2} \quad (2.14)$$

(2.12) eşitliği (2.14)'de kullanılırsa,

$$V_{REF} = \frac{K.V_{BE1} + \frac{R_1.I_{AK}}{(1+h_{FE1})} - V_{BE2}}{1 + \frac{R_1}{R_3.(1+h_{FE1})}} \quad (2.15)$$

olur. K, (2.7)'de verilen katsayıdır.

$h_{FE1} \gg 1$ olması durumunda,

$$V_{REF} = \frac{\left[1 + \frac{R_1}{R_2}\right].V_{BE1} + \frac{R_1.I_{AK}}{h_{FE1}} - V_{BE2}}{1 + \frac{R_1}{R_3.h_{FE1}}}$$

olur.

Şekil-2.2 ve Şekil-2.3'de verilen devrelerin ardından Şekil-2.1'deki asıl devreyi inceleyelim.

$$I_{R2} = \frac{(V_{BE1} - V_{R4})}{R_2} \quad (2.16)$$

$$V_{R4} = (I_{R2} + I_{E2}).R_4 \quad (2.17)$$

dir. (2.16) eşitliği (2.17)'de kullanılırsa,

$$V_{R4} = \frac{R_4}{(R_2 + R_4)} \cdot (V_{BE1} + R_2 \cdot I_{E2}) \quad (2.18)$$

(2.17) eşitliği (2.18)'de kullanılırsa,

$$I_{R2} = \frac{V_{BE1} - R_4 \cdot I_{E2}}{(R_2 + R_4)} \quad (2.19)$$

olur.

$$\begin{aligned} I_{AK} &= I_{R1} + I_{R5} + I_{C2} \\ I_{AK} &= (I_{R2} + I_{B1}) + (I_{C1} + I_{B2}) + I_{C2} \\ &= I_{R2} + I_{E1} + I_{E2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

dir. (2.19) eşitliği (2.20)'de kullanılırsa,

$$\begin{aligned} I_{AK} &= I_{E1} + \frac{V_{BE1} + R_2 \cdot I_{E2}}{(R_2 + R_4)} \\ I_{E1} &= I_{AK} - \frac{V_{BE1} + R_2 \cdot I_{E2}}{(R_2 + R_4)} \end{aligned} \quad (2.21)$$

olur.

$$V_{REF} + V_{BE2} + V_{R5} = V_{BE1} + V_{R1}$$

$$V_{REF} + V_{BE2} + R_5 \cdot (I_{C1} + I_{B2}) = V_{BE1} + R_1 \cdot (I_{B1} + I_{R2})$$

$$R_5 \cdot I_{B2} - R_1 \cdot I_{R2} = V_{BE1} - V_{BE2} - V_{REF} - R_5 \cdot I_{C1} + R_1 \cdot I_{B1}$$

dir.

$$V_a = R_5 \cdot I_{B2} - R_1 \cdot I_{R2}$$

olarak tanımlanırsa ve (2.19) eşitliği kullanılırsa,

$$R_a = \frac{R_5}{(1+h_{FE2})} + \frac{R_1 \cdot R_4}{(R_2 + R_4)} \quad (2.22)$$

olmak üzere,

$$V_a = R_a \cdot I_{E2} - \frac{R_1 \cdot V_{BE1}}{(R_2 + R_4)}$$

olur.

$$R_b = \frac{R_1 - R_5 \cdot h_{FE1}}{(1+h_{FE1})} \quad (2.23)$$

olmak üzere,

$$V_b = V_{BE1} - V_{BE2} - V_{REF} + R_b \cdot I_{E1}$$

olarak tanımlanırsa ve (2.21) eşitliği kullanılırsa,

$$k = \frac{R_2 + R_4 - R_b}{(R_2 + R_4)} \quad (2.24)$$

ve

$$R_c = \frac{R_2 \cdot R_b}{(R_2 + R_4)} \quad (2.25)$$

olmak üzere,

$$V_b = k \cdot V_{BE1} - V_{BE2} - V_{REF} + R_b \cdot I_{AK} - R_c \cdot I_{E2}$$

olur.

$V_a = V_b$ olduğu için

$$I_{E2} = \frac{(k + [R_1 / (R_2 + R_4)]) \cdot V_{BE1} - V_{BE2} - V_{REF} + R_b \cdot I_{AK}}{(R_a + R_c)}$$

olur.

$$V_{REF} = V_{R4} + R_9 \cdot I_{E2}$$

dir. V_{R4} için (2.18) eşitliği kullanılırsa,

$$V_{REF} = \frac{R_4 \cdot V_{BE1}}{(R_2 + R_4)} + \frac{R_4 \cdot R_2 \cdot I_{E2}}{(R_2 + R_4)} + R_9 \cdot I_{E2}$$

ve I_{E2} yerine konursa,

$$K = k + [R_1 / (R_2 + R_4)]$$

$$= \frac{R_1 + R_2 + R_4 - R_b}{(R_2 + R_4)} \quad (2.26)$$

$$R_d = R_a + R_c$$

$$= \frac{R_5}{(1 + h_{FE2})} + \frac{R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_b}{(R_2 + R_4)} \quad (2.27)$$

$$R_e = R_9 + \frac{R_2 \cdot R_4}{(R_2 + R_4)} \quad (2.28)$$

$$R_f = R_e \cdot K + \frac{R_d \cdot R_4}{(R_2 + R_4)} \quad (2.29)$$

olmak üzere,

$$V_{REF} = \frac{R_f \cdot V_{BE1} - R_e \cdot V_{BE2} + R_e \cdot R_b \cdot I_{AK}}{(R_d + R_e)} \quad (2.30)$$

olur.

2.1.2 G.E.M Parametreleri ile V_{REF}

200mV'luk Referans Gerilimi Üretici Devresindeki T_1 , T_2 tranzistorları aktif bölgede çalışmaktadır. G.E.M'de tranzistorun I_c akımı aktif bölge için,

$$I_1 = I_{SO} \cdot \left(1 + \frac{M \cdot V_{CE}^N}{2}\right) \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1]$$

$$I_2 = \frac{(V_{CE} - V_{BE})}{R_{CB}}$$

olmak üzere,

$$I_c = I_1 + I_2 \quad (2.31)$$

olarak, I_B akımında,

$$I_3 = \frac{I_{SO} \cdot \left(1 + \frac{M \cdot V_{CE}^N}{2}\right)}{h_{FEO} \cdot \left(1 + M \cdot V_{CE}^N\right)} \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1]$$

$$I_4 = C_2 \cdot I_{SO} \cdot [\exp(V_{BE}/n_{EL} V_T) - 1]$$

$$I_5 = \frac{(V_{CE} - V_{BE})}{R_{CB}}$$

olmak üzere,

$$I_B = I_3 + I_4 - I_5 \quad (2.32)$$

olarak ifade edilmektedir [6].

V_{REF} 'i burada verilen eşitlikleri kullanarak G.E.M parametreleriyle ifade etmek mümkündür. Bunun için V_{CE} yerine V_{CE1} , V_{CE2} ve V_{BE} yerine V_{BE1} , V_{BE2} olarak bize gerekli olan $h_{FE1} = I_{C1} / I_{B1}$, $h_{FE2} = I_{C2} / I_{B2}$ oranlarını bulmamız yeterlidir. Ancak ifadeler çok uzun olacağından ve sonuçları karşılaştırmada gerekli olacağından bu düşüncüyü temel alan bilgisayar programı yazılmıştır. Programın listesi Ek-1'de verilmiştir.

2.1.3 Spice Parametreleri İle V_{REF}

Spice analizinde kullanılan modelde ise,

$$I_1 = \frac{I_{SO}}{h_{FEM}} \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1]$$

$$I_2 = C_2 \cdot I_{SO} \cdot [\exp(V_{BE}/n_{EL} V_T) - 1]$$

olmak üzere,

$$I_B = I_1 + I_2 \quad (2.33)$$

ve

$$I_C = I_{SO} \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1] \quad (2.34)$$

olarak ifade edilmektedir [11].

Herbir tranzistor için $h_{FE} = I_C / I_B$ oranını bularak çıkış gerilimini veren V_{REF} 'i, Spice'da kullanılan model parametreleriyle bulmak mümkün olur. Ancak bölüm 2.1.2'de de belirtildiği gibi bu ifadeler el analizi için oldukça uzundur. Basit bir devrede ortaya çıkan bu zorluk devre büyüdükçe, karmaşıklaştıkça çok daha etkili olmaktadır. Artık böyle durumlarda el analizi yetersiz olduğundan simülasyon programlarını kullanmak gerekmektedir.

Bölüm 2.1.2'de olduğu gibi bu bölümdeki ifadeleri kullanan ve sadece 200mV'luk Referans Gerilimi Üretici devresi için geçerli olmak üzere basit bir bilgisayar programı yazılmıştır. Programın listesi Ek-2'de verilmiştir.

2.1.4 Ölçme Sonuçları

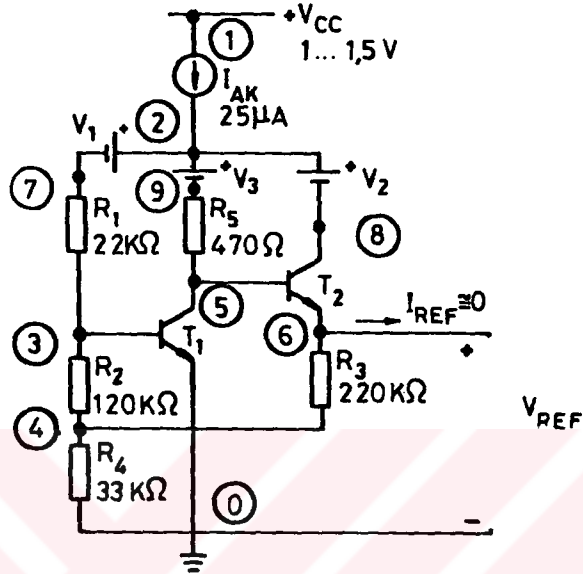
Laboratuvarda yapılan ölçmede elde edilen sonuçlar Tablo-2.2'de verilmiştir.

TABLO-2.2 200mV Referans Gerilimi Üretici Devresinin Ölçüm Sonuçları.

Kullanılan Tranzistor					Duğum Gerilimleri (mV)				
Kodu	T ₁	T ₂	V _{CC}	I _{AK}	2	3	4	5	6
E1-NPN	Q1	Q3	1,5V	25µA	700	610	133	690	186
E2-NPN	""	""	""	""	730	630	137	720	186
E2-NPN	""	""	1V	""	727	630	137	717	190
E3-NPN	""	""	1,5V	""	700	610	133	690	186
E4-NPN	""	""	""	""	710	615	135	700	190
E5-NPN	""	""	""	""	705	610	130	695	187
E6-NPN	""	""	""	""	720	626	135	710	189
Y1-NPN	""	""	""	""	695	603	130	685	184
Y1-NPN	""	""	1V	""	695	603	130	685	184
Y2-NPN	""	""	1,5V	""	715	620	135	705	187
Y3-NPN	""	""	""	""	712	619	134	702	188
Y4-NPN	""	""	""	""	700	615	133	695	185
Y5-NPN	""	""	""	""	705	615	133	695	185
R ₁ =22KΩ, R ₂ =120KΩ, R ₃ =220KΩ, R ₄ =33KΩ, R ₅ =470Ω									

2.1.5 Spice Analizi ve Sonuçları

Analizde kullanılan devrenin şeması Şekil-2.4'de verilmiştir. Bu analiz yapılırken besleme gerilimindeki değişimin devrenin çıkışını, akım ve gerilimlerini nasıl etkilediğide incelenmiştir. İnceleme V_{CC}=1V ve V_{CC}=1.5V için yapılmış, sonuçlar toplu halde Tablo-2.3'de verilmiştir.



Şekil-2.4 Spice Analizinde Kullanılan 200mV Referans Gerilimi Üretici Devresi.

TABLO-2.3 Spice analizinde besleme gerilimindeki değişimin 200mV Referans Gerilimi Üreticinin, (a) düğüm gerilimleri, (b) akımları, (c) tranzistörleri üzerine etkisi.

DÜĞÜM GERİLİMLERİ (Volt)						
■	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
A	1,0000	0,7301	0,6350	0,1436	0,7205	0,2002
B	1,5000	0,7301	0,6350	0,1436	0,7205	0,2002

(a)

AKIMLAR						
	I_{C1} (μA)	I_{B1} (nA)	I_{C2} (μA)	I_{B2} (nA)	$V1(I_{R1})$ (μA)	$V3(I_{R5})$ (μA)
A	20,4	227	0,242	14,7	4,322	20,44
B	20,4	227	0,242	14,7	4.322	20,44

(b)

$$I_{R2} = I_{R1} - I_{B1}$$

$$I_{R3} = I_{C2} + I_{B2}$$

$$I_{R4} = I_{R2} + I_{R3}$$

$$I_{R5} = I_{C1} + I_{B2} \text{ ile belirlenebilir.}$$

Q1-NPN TRANZİSTORU							
	I_B (nA)	I_C (μA)	V_{BE} (V)	V_{BC} (mV)	V_{CE} (V)	$B_F(DC)$	$B_F(AC)$
A	227	20,4	0,635	-85,5	0,72	90	128
B	227	20,4	0,635	-85,5	0,72	90	128

Q2-NPN TRANZİSTORU							
A	14,7	0,242	0,520	-9,60	0,53	16,5	29,5
B	14,7	0,242	0,520	-9,60	0,53	16,5	29,5

(c)

Bu tablolarda yer alan A ve B sembolleri analizde kullanılan besleme gerilimlerini temsil etmektedir. Bunların temsil ettiği değerler aşağıda verilmiştir.

A : $V_{cc} = 1V$

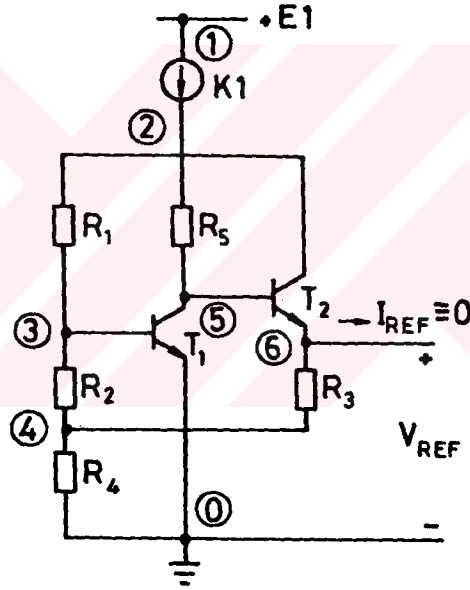
B : $V_{cc} = 1.5V$ 'dir.

Tablolardaki sonuçlar incelendiğinde $V_{cc}=1V$ ve $1.5V$

için 200mV Referans Gerilimi Üretici Devresinde sonuçların değişmediği görülmüştür.

2.1.6 G.E.M Analizi ve Sonuçları

Spice analizinde olduğu gibi bu analizde de $V_{cc}=1V$ ve $1.5V$ için inceleme yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 2.4'de, analizde kullanılan devrenin şeması da Şekil-2.5'de verilmiştir.



Şekil-2.5 G.E.M analizinde kullanılan 200mV Referans Gerilimi Üretici Devresi.

Tablo-2.4'de kullanılan A ve B sembolleri,

A : $V_{cc}= 1V$ 'luk,

B : $V_{cc}= 1.5V$ 'luk

besleme gerilimlerini temsil etmektedir. Her iki durum için sonuçlar tablodan incelendiğinde fark bulunmadığı görülmektedir.

TABLO-2.4 G.E.M analizinde besleme gerilimindeki değişimin 200mV Referans Gerilimi Üretецinin (a) duğum gerilimleri, (b) akımları, (c) tranzistorları üzerine etkisi.

DUğUM GERİLİMLERİ (Volt)						
■	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
A	1,0000	0,7343	0,6380	0,1443	0,7247	0,2016
B	1,5000	0,7343	0,6380	0,1443	0,7247	0,2016

(a)

AKIMLAR						
■	Ic1 (μA)	IB1 (nA)	Ic2 (μA)	IB2 (nA)	V1(IR1) (μA)	V3(IR5) (μA)
A	20,4	265	0,245	15,2	4,38	20,4
B	20,4	265	0,245	15,2	4,38	20,4

(b)

$$IR2 = IR1 - IB1$$

$$IR3 = Ic2 + IB2$$

$$IR4 = IR2 + IR3$$

$$IR5 = Ic1 + IB2 \text{ ile belirlenebilir.}$$

Q1-NPN TRANZİSTORU							
■	IB (nA)	IC (μA)	VBE (V)	VBC (mV)	VCE (V)	BF(DC)	BF(AC)
A	265	20,4	0,680	-86,7	0,725	77	----
B	265	20,4	0,680	-86,7	0,725	77	----
Q2-NPN TRANZİSTORU							
A	15,2	0,245	0,523	-9,6	0,53	16,12	----
B	15,2	0,245	0,523	-9,6	0,53	16,12	----

(c)

$$I_{B3} = I_{C3} / h_{FE3} \quad (2.35)$$

$$I_{B4} = I_{C4} / h_{FE4} \quad (2.36)$$

$$I_{C4} = I_{C3} \quad (2.37)$$

dir. (2.37) eşitliği (2.35)'de kullanılırsa,

$$I_{B3} + I_{B4} = \frac{I_{C4}}{h_{FE3}} + \frac{I_{C4}}{h_{FE3}} \quad (2.38)$$

olur.

$$I_{C2} = h_{FE2} \cdot I_{B2} \quad (2.39)$$

$$I_{C2} = I_{C3} + I_{B3} + I_{B4} \quad (2.40)$$

dir. (2.38) ve (2.39) eşitlikleri (2.40)'da kullanılırsa,

$$h_{F1} = \frac{h_{FE3} + h_{FE4} + h_{FE3} \cdot h_{FE4}}{h_{FE2} \cdot h_{FE3} \cdot h_{FE4}}$$

olmak üzere,

$$I_{B2} = h_{F1} \cdot I_{C4} \quad (2.41)$$

olur.

$$I_{E5} = (1 + h_{FE5}) \cdot I_{B5} \quad (2.42)$$

$$I_{B5} = I_{R2} - I_{E6} \quad (2.43)$$

$$I_{E6} = (1 + h_{FE6}) \cdot I_B \quad (2.44)$$

dir. (2.44) ve (2.43) eşitlikleri (2.42)'de kullanılırsa,

$$h_{F2} = (1+h_{FE5}).(1+h_{FE6})$$

olmak üzere,

$$I_{E5} = (1+h_{FE5}).I_{R2} - h_{F2}.I_B \quad (2.45)$$

olur.

$$I_C = h_{FE1}.I_{B1} \quad (2.46)$$

$$I_{B1} = I_{AK} + I_{C4} - I_{E5} - I_{B2} \quad (2.47)$$

dir. (2.41), (2.45), (2.47) eşitlikleri (2.46)'da kullanılırsa,

$$\begin{aligned} h_{FE} &= h_{FE1}.h_{F2} \\ &= h_{FE1}.(1+h_{FE5}).(1+h_{FE6}) \end{aligned} \quad (2.48)$$

$$= h_{FE1}.h_{FE5}.h_{FE6} + h_{FE1}.(h_{FE5} + h_{FE6})$$

ve

$$I_O = I_{AK} + (1-h_{F1}).I_{C4} - (1+h_{FE5}).I_{R2} \quad (2.49)$$

olmak üzere,

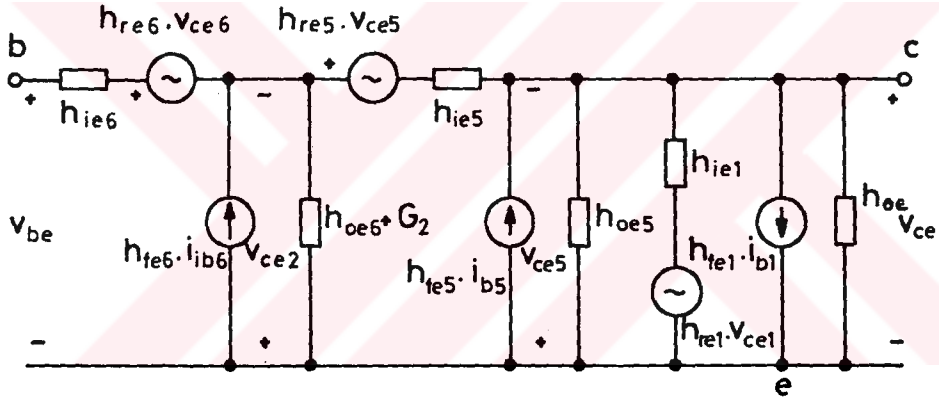
$$I_C = h_{FE}.I_B + h_{FE1}.I_O \quad (2.50)$$

olur.

Devredeki Q6 tranzistörü kesimde olursa devrenin çıkışından Q6 iletime geçecek değerde oluncaya kadar ($h_{FE1}I_O$) sabit akımı akar. Bu durumda devre darlington özelliğini kaybeder.

2.2.2 Küçük İşaret El Analizi ve $i_c = f(i_b)$

Q3 ve Q4'ten oluşan, destek akımını sağlayan akım aynası ile I_{AK} akım kaynağının akımlarının değişmediği kabulü altında Şekil-2.6'daki devrenin küçük işaret eşdeğer devresi Şekil-2.7'de verilmiştir.



Şekil-2.7 Düşük Gerilim Darlington Devresi Küçük İşaret Eşdeğeri.

$$i_{c1} = h_{fe1} \cdot i_{b1} + h_{oe1} \cdot v_{ce1} \quad (2.51)$$

$$i_{b1} = (1 + h_{fe5}) \cdot i_{b5} + h_{oe5} \cdot v_{ce5} \quad (2.52)$$

$$v_{ce5} = -h_{ie1} \cdot i_{b1} - h_{re1} \cdot v_{ce1} \quad (2.53)$$

dir. (2.53) eşitliği (2.52)'de kullanılırsa,

$$k_1 = 1 + h_{ie1} \cdot h_{oe5}$$

olmak üzere,

$$i_{b1} = \frac{(1+h_{fe5}) \cdot i_{b5} - h_{re1} \cdot h_{oe5} \cdot v_{ce1}}{k_1} \quad (2.54)$$

olur.

$$i_{b5} = (1+h_{fe6}) \cdot i_{b6} + (G_2 + h_{oe6}) \cdot v_{ce6} \quad (2.55)$$

$$v_{ce6} = (1-h_{re5}) \cdot v_{ce5} - h_{ie5} \cdot i_{b5} \quad (2.56)$$

dir. (2.56) eşitliği (2.55)'de kullanılırsa,

$$k_2 = 1+h_{ie5} \cdot (G_2 + h_{oe6})$$

$$g_1 = (G_2 + h_{oe6}) \cdot (1-h_{re5})$$

olmak üzere,

$$i_{b5} = \frac{(1+h_{fe6}) \cdot i_{b6} + g_1 \cdot v_{ce5}}{k_2} \quad (2.57)$$

olur. (2.53) eşitliğinin (2.57)'de kullanılması ile elde edilen yeni eşitlik (2.54)'de kullanılırsa,

$$h_{f1} = h_{fe5} + h_{fe6} + h_{fe5} \cdot h_{fe6}$$

$$g_2 = h_{re1} \cdot [g_1 \cdot (1+h_{fe5}) + k_2 \cdot h_{oe5}] \quad (2.58)$$

olmak üzere,

$$i_{b1} = \frac{h_{f1} \cdot i_{b6} - g_2 \cdot v_{ce1}}{[k_1 \cdot k_2 + g_1 \cdot h_{ie1} \cdot (1+h_{fe5})]} \quad (2.59)$$

olur. (2.59) eşitliği (2.51)'de kullanılırsa,

$$h_{fe} = \frac{h_{fe1} \cdot h_{f1}}{[k_1 \cdot k_2 + g_1 \cdot h_{ie1} \cdot (1+h_{fe5})]} \quad (2.60)$$

$$h_{oe} = h_{oe1} - \frac{h_{fe1} \cdot g_2}{[k_1 \cdot k_2 + g_1 \cdot h_{ie1} \cdot (1+h_{fe5})]} \quad (2.61)$$

olmak üzere,

$$i_{c1} = h_{fe} \cdot i_{b5} + h_{oe} \cdot v_{ce1} \quad (2.62)$$

olur.

$$v_{be5} = h_{ie5} \cdot i_{b5} + (h_{re5} - 1) \cdot v_{ce5} \quad (2.63)$$

dir. (2.52) eşitliği (2.53)'de kullanılırsa,

$$v_{ce5} = \frac{-h_{ie1} \cdot (1+h_{fe5}) \cdot i_{b5} - h_{re1} \cdot v_{ce1}}{k_1} \quad (2.64)$$

ve (2.64) eşitliği (2.56)'da kullanılırsa,

$$r = -h_{ie5} - \frac{h_{ie1} \cdot (1+h_{fe5}) \cdot (1-h_{re5})}{k_1}$$

$$h_r = \frac{h_{re1} \cdot (1-h_{re5})}{k_1}$$

olmak üzere,

$$v_{ce5} = r \cdot i_{b5} - h_r \cdot v_{ce1} \quad (2.65)$$

olur. (2.55) eşitliği (2.65)'de kullanılırsa,

$$h_{ie} = h_{ies} + \frac{r.(1+h_{fes}).(h_{res}-1)}{[1-r.(G_2 + h_{oes})]} \quad (2.66)$$

$$h_{re} = \frac{hr.(1-h_{res})}{[1-r.(G_2 + h_{oes})]} \quad (2.67)$$

olmak üzere,

$$v_{bes} = h_{ie}.i_{bs} + h_{re}.v_{ces} \quad (2.68)$$

olur.

2.2.3 G.E.M Parametreleri İle $I_c = f(I_B)$

Şekil-2.6'deki devre sınırlı I_B bölgesinde darlington olarak çalışır. Bu bölgede kalındığı surece DC çıkış akımını veren (2.50) ifadesindeki ikinci terim birincinin yanında ihmal edilebilir. Çıkış akımı yaklaşık olarak,

$$I_c \cong h_{FE}.I_B \quad (2.69)$$

alınabilir.

2.1.2 alt bölümünde sözü edildiği gibi (2.31), (2.32) ifadeleri kullanılarak (2.69)'deki h_{FE} için h_{FE1} , h_{FE5} , h_{FE6} hesaplanabilir. Böylelikle parametreleri kullanarak, verilen bir I_B değeri için devrenin vermesi gereken I_c değeri el analizi ifadesini kullanan basit bir bilgisayar programı ile yaklaşık olarak çok çabuk elde edilebilir.

2.2.4 Spice Parametreleri İle $I_c = f(I_B)$

2.2.3 Alt bölümündeki açıklamalar bu alt bölümde de geçerlidir. Ancak kullanılması gereken ifadeler 2.1.3 alt bölümündeki ifadelerdir.

2.2.5 G.E.M ve Spice Parametreleri İle $i_c = f(i_b)$

Darlington devresinde el analizi bakımından karmaşıklık getirecek miktarda tranzistor bulunmaktadır.

Sadece bir tranzistor için önce çalışma akım ve gerilimleri I_B , I_C , V_{BE} , V_{CE} 'yi belirlemek ve sonrasında bu akım ve gerilimler için h-parametrelerini belirlemek için kullanacağımız ifadelerin uzunluğu ve karmaşıklığı el analizi için mümkün olabilir. Ancak tranzistor miktarı arttıkça bu durum mümkün olmaktan çıkar. Bu yüzden bu bölümde verilmesi gereken ifadeler verilmemiştir.

2.2.6 DC Çıkış Gerilimi ve v_o/v_g Gerilim Kazancı

(2.50)'de verilen I_c ifadesi geçerli olmak üzere

$$V_o = V_{CCP} - R_Y \cdot I_C \quad (2.70)$$

olur. Burada V_{CCP} pozitif besleme gerilimi için kullanılmıştır.

$$v_{ce1} = -i_{c1} \cdot R_Y \quad (2.71)$$

dir. (2.62) eşitliği (2.71)'de kullanılırsa,

$$i_{bo} = - \frac{(1 + R_Y \cdot h_{oe}) \cdot v_{ce1}}{R_Y \cdot h_{fe}} \quad (2.72)$$

ve (2.72) eşitliği (2.68)'de kullanılırsa,

$$\frac{v_{ce1}}{v_{be\delta}} = \frac{-R_Y \cdot h_{fe}}{h_{ie} + R_Y \cdot (h_{oe} \cdot h_{ie} + h_{re} \cdot h_{fe})} \quad (2.73)$$

$$\begin{aligned} \frac{v_o}{v_g} &= \frac{v_o}{v_{be\delta}} \cdot \frac{v_{be\delta}}{v_g} \\ &= \frac{v_{ce1}}{v_{be\delta}} \cdot \frac{r_i}{R_g + r_i} \end{aligned} \quad (2.74)$$

olur.

Burada R_g , V_g işaret kaynağının iç direnci, r_i ise devrenin giriş direnci olup yaklaşık olarak h_{ie} alınabilir.

2.2.7 Ölçme Sonuçları

Laboratuvarda yapılan ölçmede elde edilen sonuçlar Tablo-2.6'da verilmiştir. Bu ölçümlerde,

$$V_{CCP} = +1 \text{ volt}$$

$$V_{CCN} = -1 \text{ volt}$$

$$I_{AK} = 5\mu A$$

$$R_1 = 10K\Omega$$

$$R_2 = 15K\Omega$$

$$R_Y = 1K\Omega$$

alınmıştır. PNP için B-B102 tümdevresi kullanılmıştır. Kazanç ölçümünde çıkış gerilimi,

$$v_o(\text{eff}) = 100\text{mV} \text{ ya da}$$

$$v_o(\text{tepe}) = 141,4\text{mV'a}$$

ayarlanmıştır.

TABLO-2.6 Düşük Gerilimle Beslenen Darlington Devresinin
(a) - $I_c(\mu A)$, dc çıkış akımı,
(b) - küçük işaret kazancı ile harmoniklerinin
değerleri.

	$I_c(\mu A)$								
$I_B(nA)$	50	75	100	125	150	175	200	225	250
E4-B101	90	270	520	870	1200	1500	1700	1840	1860
E2-B101	80	280	550	1000	1350	1650	1750	1800	1800

$R_y = 1K\Omega$ kullanılmıştır.

(a)

$V_o(DC)$ mV	$I_c(DC)$ μA	$v_g(mV)$ tepe	v_o/v_g	HARMONİK DEĞERLERİ		
				I(mV)	II(mV)	III(μV)
+494	506	12.2	11.59	5.308	0.0794	-----
+ 8	992	8.47	16.70	1.412	0.1496	7.5

$R_y = 1K\Omega$ kullanılmıştır.

(b)

2.2.8 Spice ve G.E.M Analizlerinin Sonuçları

Darlington devresinin PSPICE, TIME-1 ve ölçüm sonuçları hem dc hem de küçük işaretler bakımından Tablo-2.7' de verilmiştir.

TABLO-2.7 Düşük Gerilimle Beslenen Darlington Devresinin
PSPICE, TIME-1 ve Ölçü Sonuçları.

(a)- $I_C(\mu A)$, dc çıkış akımı,

(b)- küçük işaret kazancı ve harmoniklerinin değer-
leri.

	$I_C(\mu A)$						
$I_B(nA)$	50	63.5	83	100	105.75	120.18	150
PSPICE	25.43	-----	-----	374.5	505.3	991.4	1785
TIME-1	294	507	985	1490	-----	-----	1860
OLÇUM-1	90	-----	-----	520	-----	-----	1200
OLÇUM-2	80	-----	-----	550	-----	-----	1350

$R_Y = 1K\Omega$ kullanılmıştır.

(a)

	$V_O^{(dc)}$ mV	$I_C^{(dc)}$ μA	$V_C^{(mv)}$ g	v_o/v_g	HARMONİK DEĞERLERİ		
					I(mV)	II(mV)	III(μV)
PSPICE	+495	505.3	10.2	13.95	8.043	0.125	13.22
TIME-1	+493	507	10.6	13.4	7.531	0.0314	17.76
OLÇUM	+494	506	12.2	11.59	5.308	0.0794	-----
PSPICE	+ 8.6	992	6.25	22.5	2.915	0.0477	4.171
TIME-1	+15.2	985	6.9	20.58	1.922	0.1417	4.243
OLÇUM	+ 8	992	8.47	16.70	1.412	0.1496	7.5

$R_Y = 1K\Omega$ kullanılmıştır.

(b)

Buraya kadar ele aldığımız düşük gerilimle beslenen devre yapılarının analizleri, çalışmanın başlarında SPICE-3C simülasyon programının olmamasından ötürü TIME-1 ve PSPICE ile yapılmıştır. TIME-1 simülasyon programında

R_B , R_C , R_E ve I_{KF} model parametreleri verilemediğinden kullanılan parametreler test devreleri ile verilebilen parametreler ile belirlenmiş, devrelerin analizleri bu parametre takımları ile yapılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde çok önemli bir fark görülmemiştir. Farklı ve daha karmaşık devre yapılarında simülasyon programlarının davranışını incelemek için uç temel devre daha ele alınıp, analizleri yapılmıştır. Bu devreler ele alındığında SPICE-3C mevcut olduğundan bundan sonraki analizlerde TIME-1 yerine SPICE-3C kullanılmıştır. Böylelikle I_{KF} , R_B , R_C ve R_E parametreleride kullanılmıştır. Referans Gerilimi Üretici Devresi ile Darlingtonun analizleri yeni parametre takımıyla da yapılmış ve sonuçları Tablo-2.8, Tablo-2.9'da verilmiştir.

TABLO-2.8 Düşük Gerilimle Beslenen Referans Gerilimi Üretici Devresinin Toplu Sonuçları.

	DÜĞÜM GERİLİMLERİ (mV)				
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
TIME-1	734.2	637.8	143.1	724.7	190.0
PSPICE	730.1	634.8	142.4	720.5	188.6
SPICE3C	729.96	635.12	142.37	720.41	188.15
ÖLÇÜM-1	727	630	137	717	190
ÖLÇÜM-2	695	603	130	685	184

$V_{cc}=1V$ ya da $V_{cc}=1.5V$, $R_y=1MEG\Omega$ kullanılmıştır.

TABLO-2.9 Düşük Gerilimle Beslenen Darlington Devresinin Toplu Sonuçları.

	$V_o(\text{dc})$ mV	$V_g(\text{mV})$	v_o/v_g	THD %	HARMONİK DEĞERLERİ		
					I (mV)	II (mV)	III (μV)
PSPICE	+495	10.2	13.95	5.644	8.043	0.125	13.22
TIME-1	+493	10.6	13.4	5.295	7.531	0.0314	17.76
SPICE-3C	+498	10.8	12.94	5.148	7.093	0.4767	451.44
PSPICE	+ 8.6	6.25	22.5	2.073	2.915	0.0477	4.171
TIME-1	+15.2	6.9	20.58	1.357	1.922	0.1417	4.243
SPICE-3C	+ 4.5	6.93	20.26	1.588	1.883	0.4771	465.28
$R_y=1\text{K}\Omega$ alınmıştır.							
ÖLÇÜM-1	+494	12.2	11.59	3.752	5.308	0.0794	-----
ÖLÇÜM-2	+503	10.35	13.66	5.616	7.952	0.1120	
ÖLÇÜM-1	+ 8	8.47	16.70	1.004	1.412	0.1496	7.5
ÖLÇÜM-2	+ 17	6.68	21.19	2.176	3.165	0.1498	-----

ÖLÇÜM-1 : E4-EXAR B101-NPN dizileri ile yapılan ölçüm,

ÖLÇÜM-2 : Y3-EXAR B101-NPN dizileri ile yapılan ölçümdür. Bu iki ölçümde PNP dizisi değiştirilmemiştir.

2.3 Ön Kuvvetlendirici (Pre-Amp.) Devresi

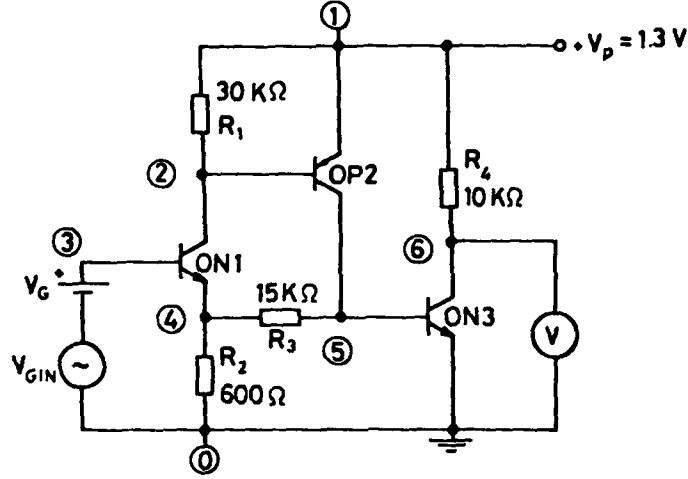
Şekil-2.8'de devre şeması verilen ön kuvvetlendirici devresinin analiz ve ölçüm sonuçları Tablo-2.10'da verilmiştir.

TABLO-2.10 Ön Kuvvetlendirici Devresinin Analiz Ve Ölçüm Sonuçları.

-1-	PSPICE					HARMONİKLERİ		
V_g (mV)	V_o (mV)	V_g (μ V)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (mV)	III (μ V)
671.27	865.3	345	143.8	416.8	7.8	11.23	0.542	15.5
671.62	694.3	248	141.1	569	5.5	7.73	0.253	3.45
671.86	540.6	200	140.6	703	4.3	6.06	0.152	1.47

-2-	SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
V_g (mV)	V_o (mV)	V_g (μ V)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (mV)	III (μ V)
671.21	867.2	355	143.95	405.5	7.8	11.16	0.766	491
671.58	694.71	250	140.77	563.1	5.3	7.32	0.544	470
671.83	539.65	201	140.66	699.8	4.1	5.61	0.501	468

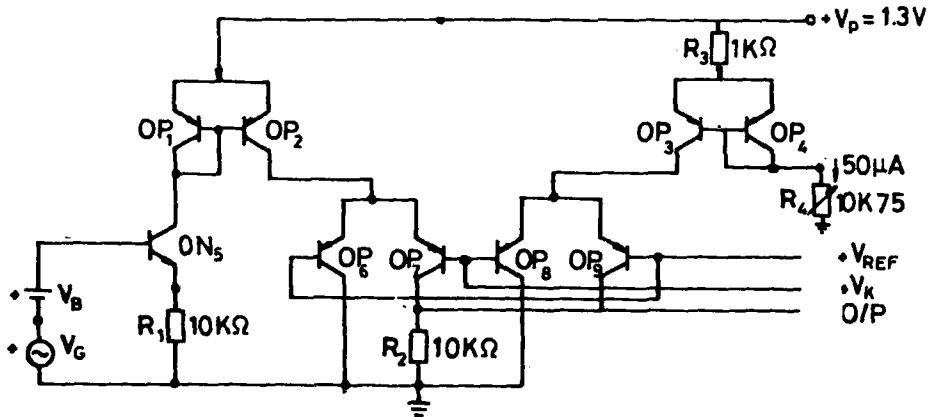
-3-	ÖLCÜM					HARMONİKLERİ		
V_g (mV)	V_o (mV)	V_g (μ V)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (mV)	III (μ V)
672	885	382	141.4	370.2	8.9	12.60	0.707	-----
673	684	254.56	141.4	555.5	5.6	7.95	0.224	-----
673	540	212	141.4	667	4.7	6.69	0.126	-----



ŞEKİL-2.8 Düşük Gerilimle Beslenen Ön Kuvvetlendirici Devresi.

2.4 Gerilim Kontrollü Kuvvetlendirici Devresi

Şekil-2.9'da devre şeması verilen Gerilim Kontrollü kuvvetlendiricinin PSPICE ile SPICE-3C analiz sonuçları Tablo-2.11'de verilmiştir.



Şekil-2.9 Düşük Gerilimle Beslenen Gerilim Kontrollü Kuvvetlendirici Devresi.

TABLO-2.11 Düşük Gerilimle Beslenen Gerilim Kontrollü Kuvvetlendirici Devresinin Analiz Sonuçları.

-1-	PSPICE					HARMONİKLERİ		
V_{REF} (V)	V_K (V)	V_B (mV)	V_g (mV)	V_o/V_g	THD %	I (μ V)	II (μ V)	III (nV)
0.2	0.15	140.5	16.65	0.601	.772	77.16	2.903	145.3
0.2	0.20	263.8	29	0.345	1.46	145.7	8.594	491
0.2	0.25	387.7	108	0.093	8.61	855.7	114	18720

-2-	SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
V_{REF} (V)	V_K (V)	V_B (mV)	V_g (mV)	V_o/V_g	THD %	I (μ V)	II (μ V)	III (nV)
0.2	0.15	142.21	16.63	0.601	.96	44.97	33.93	33.63
0.2	0.20	268.08	28.5	0.351	1.41	112.2	34.42	33.79
0.2	0.25	394.1	105.5	0.095	8.21	812.7	112.4	52091

Çıkış salınım geriliminin tepe değeri $V_o = 10\text{mV}$ alınmıştır.

2.5 Hattan Hatta Çıkış Dalgalanmalı Ön Kuvvetlendirici

Şekil-2.10'da devre şeması verilen bu kuvvetlendiricinin analiz sonuçları Tablo-2.12'de verilmiştir.

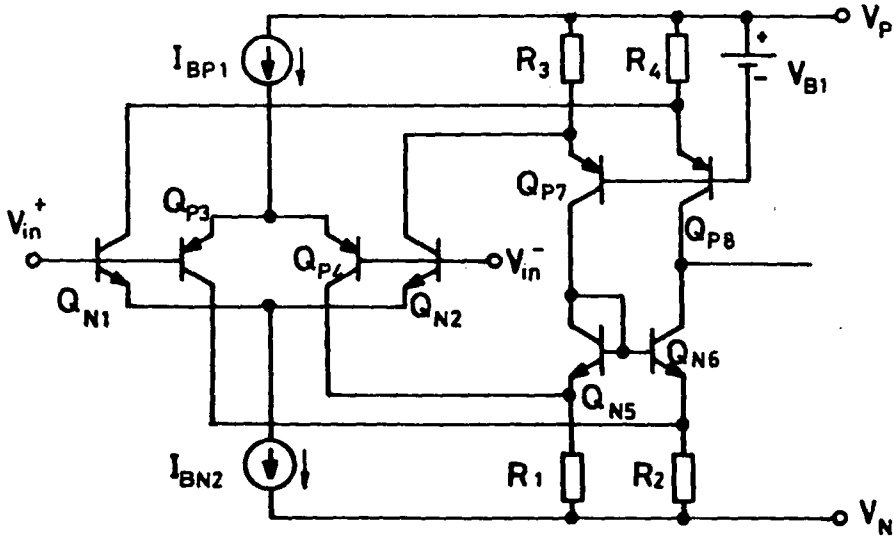
TABLO-2.12 Hattan Hatta Çıkış Dalgalanmalı Kuvvetlendiricinin Analiz ve Ölçüm Sonuçları.

-1-	PSPICE					HARMONİKLERİ		
V_5 (μV)	V_{19} (mV)	V_g (μV)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
+435	-105.4	460	140.3	305	1.87	2.618	46.84	30.37
-300	+105.9	520	140.5	270.2	2.09	2.936	66.02	31.03

-2-	SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
V_5 (μV)	V_{19} (mV)	V_g (μV)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
+415	-103.4	480	141.35	294.5	1.75	2.166	478.7	469.5
-305	96.9	536	141.14	263.3	1.92	2.430	479.7	468.5

$R_Y = 500K\Omega$ alınmıştır.

(a)



Şekil-2.10 Hattan Hatta Çıkış Dalgalanmalı Kuvvetlendirici Devresi.

-1-	PSPICE					HARMONİKLERİ		
$V_s (\mu V)$	$V_{13} (mV)$	$V_g (\mu V)$	$V_o (mV)$	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
-----	+150.7	1015	141.7	139.6	3.87	5.47	243	13.27
-----	- 79.9	800	141.2	176.5	3.24	4.58	90.42	13.03
-----	-179.5	735	141.6	192.6	2.92	4.13	55.78	15.04

-2-	SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
$V_s (\mu V)$	$V_{13} (mV)$	$V_g (\mu V)$	$V_o (mV)$	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
-----	+151	1033	140.62	136.1	3.54	4.82	539.8	464
-----	- 78.6	818	140.40	171.6	3.02	4.07	485	463.7
-----	-179.5	754	141.48	187.6	2.73	3.67	482.6	468.7

-3-	ÖLÇÜM					HARMONİKLERİ		
$V_s (\mu V)$	$V_{13} (mV)$	$V_g (\mu V)$	$V_o (mV)$	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
-----	+150	827.3	141.4	170.9	2.11	2.99	-----	-----
-----	- 80	806	141.4	175.4	2.00	2.82	282	-----
-----	-180	792	141.4	178.5	1.78	2.52	-----	-----

(b)

$R_Y = 280K\Omega$ alınmıştır.

Ele alının farklı dört temel yapının PSPICE, TIME-1 ve SPICE-3C (BSPICE) ile yapılan analizleri düşük gerilim bölgesinde farklılık getirmemiştir. Analiz ile bazı devrelerin ölçüm sonuçlarında ise az bir farklılık gözükmektedir. Bu küçük fark kullanılan BJT dizilerinin imalat gereği gösterdiği farklılıktan ileri gelmektedir.

Sonuç olarak düşük gerilim bölgesinde yapılacak analizler için model parametreleri iyi verildiğinde yüksek doğruluklu model kullanılmayabilir.

BÖLÜM 3

DÜŞÜK GERİLİMLE BESLENEN DEVRE YAPILARININ SİMÜLASYONLARINDA KULLANILAN MODEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Simulasyonu yapılan BJT'li temel devre yapıları düşük gerilim bölgesinde çalışmaktadır. Bu yüzden BJT'yi modelleyen tüm parametre takımını belirlemek yerine, çalışılan bu bölgenin getirdiği kısıtlamadan yararlanarak baskın olan parametreler belirlenmiş, diğerleri default değer (simulasyon programında verilen değer) alınmıştır.

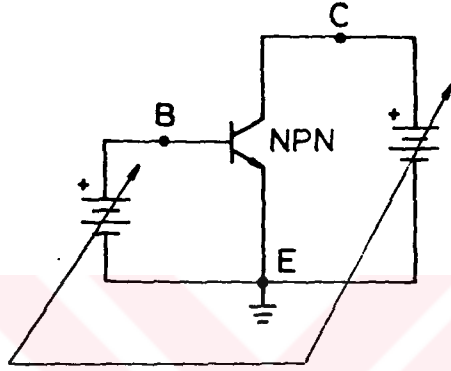
PSPICE simulasyon programında bu çalışma bölgesi için baskın olan parametreler I_S , β_F , I_{SE} , N_E , I_{KF} , V_{AF} , R_B , R_C ve R_E , TIME-1'de I_{SO} , β_{FO} , M , N , C_2 , N_{EL} ve R_{CB} , SPICE-3C'de ise I_S , β_F , M_F , M_{JC} , C_2 , N_E , I_{KF} , R_{CB} , R_B , R_C ve R_E 'dir.

EXAR B101-NPN tranzistor dizilerine ilişkin bu büyük işaret parametrelerini belirlemek için uç ölçme yapılmıştır.

I. ÖLÇME : Şekil-3.1'de verilen ölçü düzeneği ile V_{BE} 'e bağlı olarak I_C ve I_B değerleri ölçülmüş, bu değerler kullanılarak $\ln(I_C)-V_{BE}$, $\ln(I_B)-V_{BE}$ ve $\beta-\ln(I_C)$ eğrileri elde edilmiştir.

II. ÖLÇME : Şekil-3.2'de verilen ölçü düzeneği ile sabit baz akımları için I_C-V_{CE} statik çıkış özdeşleri elde edilmiştir.

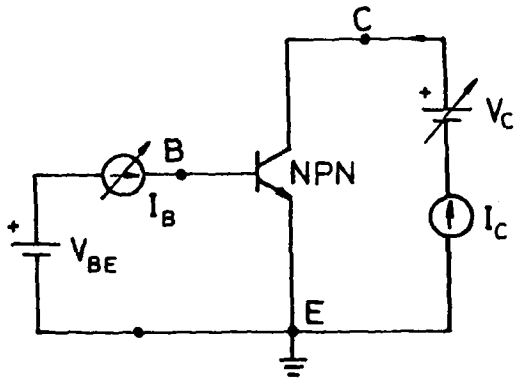
III. ÖLÇME: Şekil-3.3'de verilen ölçme devreleri 1-
le $V_{CE} = 5V$ için h_{oe} parametresinin I_C kollektor akımıyla
değişimleri, $I_C = 2mA$ için V_{CE} kollektor-emetör gerilimiyle
değişimleri bulunmuştur.



SMU1	VC	IC	V	VAR1
SMU2	VB	IB	V	VAR1'
SMU3	VE	I3	COM	

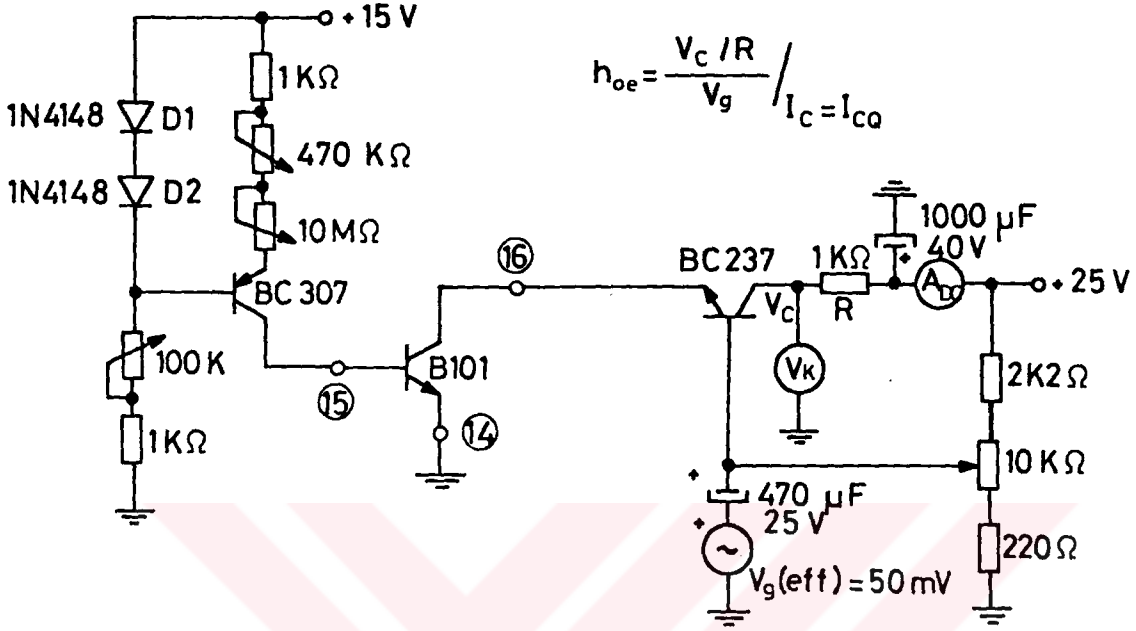
$$\text{Ratio} : \frac{\text{VAR1}}{\text{VAR1}'} = 1$$

Şekil-3.1 $V_{CB}=0$ için V_{BE} 'e bağlı olarak
 I_C ve I_B 'i ölçmede kullanılan
ölçme düzeneği.



SMU1	VC	IC	V	VAR1
SMU2	VB	IB	I	VAR2
SMU3	VE	IE	COM	

Şekil-3.2 $I_B=\text{sabit}$ için çıkış özdeşlerini
elde etmede kullanılan ölçme
düzeneği.



Şekil-3.3 NPN Tranzistorunun h_{oe} parametresini saptayan ölçme düzeneği.

Bu ölçme sonuçları kullanılarak ihtiyaç duyulan model parametreleri belirlenmiştir. Parametrelerin belirlenmesi bu bölümün alt bölümlerinde izah edilmiştir. Burada verilmemekle birlikte NPN için yapılanlar PNP için de yapılmıştır.

3.1 Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Bazı model parametreleri ölçme sonuçlarından belirlenirken bazı parametrelerin belirlenmesinde bilgisayardan faydalanılmıştır.

Butun parametreler belirlendikten sonra simulasyon programlarına Şekil-3.1, Şekil-3.2 ve Şekil 3.3'deki ölçme devreleri verilerek sonuçların ölçme sonuçlarına tutarlılığı gözlenmiş ve bazı parametrelerin değerleri bu uç test devresinin sonuçlarıyla yakınlaştıncaya kadar çok küçük değişimlere uğramıştır.

3.1.1 I_S Parametresinin Belirlenmesi

I_S parametresi, $V_{BC}=0$ koşulu altında elde edilen $\ln(I_C)-V_{BE}$ eğrisinden ya da düşük akım bölgesinden alınacak $(\ln I_{C1}, V_{BE1})$ ve $(\ln I_{C2}, V_{BE2})$ şeklinde iki nokta ile [6] belirlenebilir.

Bu çalışmada eğri kullanılarak I_S parametresi belirlenmiştir. Ancak bu değer bu parametrenin kesin değeri değildir. Çünkü alınan eğime göre bu parametrenin değeri çok az aşağı ya da yukarı kayabilir. Bunun iyi belirlenmesi gerekir. Zira düşük gerilim bölgesinde oldukça etkili parametrelerden bir tanesidir.

3.1.2 β_{FM} Parametresinin Belirlenmesi

Bu parametre $V_{BC}=0$ koşulu altında elde edilen V_{BE} ile değişen $\ln(I_B)$ eğrisinden bulunabileceği gibi

$$a_1 = \beta_{FM}^{-1}$$

$$a_2 = C_2 \cdot I_S^{(1-1/n_{EL})}$$

$$a_3 = \frac{\theta^2}{\beta_{FM} \cdot I_S}$$

olmak üzere,

$$\beta_F^{-1} = a_1 + a_2 \cdot I_C^{(1/n_{EL}-1)} + a_3 \cdot I_C$$

bağıntısının [11] çözümü ile belirlenebilir ki bu çalışmada da bu yol kullanılmıştır.

n_{EL} parametresi ve $V_{CB}=0$ için çizilen $\beta \cdot \ln(I_C)$ eğrisinden alınacak iki nokta ile β_{FM} , C_2 , θ belirlenebilir. Yazılacak küçük bir bilgisayar programı bu işlemleri çok hızlı bir biçimde yapacaktır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir husus var. O da seçilecek bu noktaların düşük akım bölgesinden olmasıdır. Elde edilen parametre değerleri diğerlerinde olduğu gibi kesin değildir.

3.1.3 NEL ve C₂ Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu iki parametre $\ln(I_S) - V_{BE}$ eğrisinden bulunabilir. Ancak elde edilen ölçüm sonuçlarında bu parametreleri belirleyecek olan bölge belirgin olmadığından N_{EL} 'e XR-katalogundaki değer verilmiştir. C_2 için ise Bölüm-3.1.2'de bulunan değer kabul edilmiştir.

3.1.4 I_{KF} ya da θ Parametresinin Belirlenmesi

Bu parametre hem eğriden hemde Bölüm-3.1.2'deki ifadeden belirlenebilir. Bu çalışmada değeri eğriden bulunmuştur.

Buraya kadar ele aldığımız model parametreleri $V_{CB}=0$ için elde edilen V_{BE} ile değişen $\ln(I_C)$ ve $\ln(I_B)$ eğrilerinden, Bölüm-3.1.2'deki bağıntının çözümünden ve kata - logtan belirlenmiştir.

Ancak eğriden okurken yapılacak okuma hatası (taksimatların iyi olmamasından oturu) ve bağıntıdaki akım bölgeleri arasındaki süreksizlik ve en önemlisi çalışılan bölgenin bu hataları kabul edemeyecek düşük gerilim, düşük akım bölgesi olması dolayısıyla ilk etapta bulunan değerler parametrelerin alması gereken değerler değildir. Bu değerlerin ince ayardan geçmesi gerekir. Bu da ölçme- de kullanılan uç devrenin simulasyonda test edilmesi ile olur. Bu yapılırken izlenmesi gereken bir sıra vardır. O da,

- 1- I_S parametresi ile $V_{CB} = 0$ koşulundaki düşük I_C değerleri yakınlaştırılır.
- 2- I_{KF} ile II. ve III. bölgede I_C değerleri yakınlaştırılır.
- 3- N_{EL} ve β_{FM} ile II. VE III. bölgedeki I_B akım değerleri, C_2 ile I. bölge (düşük akım bölgesi) I_B değerleri ayarlanır.
- 4- Sırasıyla C_2 , β_{FM} ve N_{EL} çok az otelenerek $\ln(I_C)$ ile değişen β_F sonuçları da yakınlaştırılır.

3.1.5 VAF Parametresinin Belirlenmesi

Çalışma bölgesi göz önüne alınarak geometrik yöntemle çıkış özdeşlerinden belirlenir. Ölçme devresi simülasyon programına verilerek eldeki min. ve max. değerlere göre değeri belirlenir.

3.1.6 M, N ve R_{cb} Parametrelerinin Belirlenmesi

Hoe ölçüm sonuçları kullanılarak bilinen yöntemle [6] değerleri belirlenir. Ölçümde kullanılan devrelerle simülasyon programlarında test edilir.

3.1.7 G.E.M Parametrelerinden Bir Kısımının SPICE Parametrelerinden Elde Edilmesi

$I_{so}(GEM)$, $\beta_{fo}(GEM)$ ve $C_2(GEM)$ parametreleri $I_s(SPI)$, $\beta_{FM}(SPI)$ ve $C_2(SPI)$ parametrelerinden elde edilebilir. Bunu için önce SPICE parametrelerini belirlemek gerekir. Sonrasında Ek-4'de çıkarılışı verilmiş olan aşağıdaki ifadelerden G.E.M parametreleri bulunur.

$$(0,987325).I_{so}(SPI) \leq I_{so}(GEM) \leq (0,99389).I_{so}(SPI)$$

$$(0,9750).\beta_{FM}(SPI) \leq \beta_{fo}(GEM) \leq (0,98096).\beta_{FM}(SPI)$$

$$(1,01284).C_2(SPI) \leq C_2(GEM) \leq (1,0097).C_2(SPI)$$

Model parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi özellikle düşük gerilimle beslenen devrelerin simülasyonlarının doğruluğu açısından daha önemli olmaktadır. Nitekim bu çalışmada farklı model parametre değerleri ile daha önce analizi yapılan devrelerin bazılarının analiz -

leri de yapılmıştır. Bu analizlerde kullanılan daha önce yüksek akım bölgesi için belirlenmiş model parametreleri ile bu parametreleri kullanarak elde edilen analiz çıktıları Ek-5'de verilmiştir. Aynı devrelerin düşük gerilim (düşük akım) bölgesi için belirlenmiş model parametreleri ile yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılması için de Tablo-3.1 oluşturulmuştur.

TABLO-3.1 Model Parametrelerinin Farklı Olması Durumunda
(a)- Ön Kuvvetlendirici Devresi,
(b)- Darlington Devresi
Sonuçlarının Karşılaştırılması.

-1-	YÜKSEK AKIM BÖLGESİ PARAMETRELERİYLE SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
V_g (mV)	V_o (mV)	V_g (μV)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (mV)	III (μV)
671.58	16.7	250	0.0257	0.103	1.2	.0002	.0001	.0855

-2-	SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
671.58	694.71	250	140.77	563.1	5.3	7.32	0.544	470

(a)

-1-	YÜKSEK AKIM BÖLGESİ PARAMETRELERİYLE SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
I_B (nA)	V_o (mV) DC	V_g (mV)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
43	12.2	10.8	197.66	18.30	1.89	3.332	727.4	647.1
59.2	-559.4	6.93	132.05	19.05	1.94	2.266	692.8	233.7

-2-	SPICE-3C					HARMONİKLERİ		
I_B (nA)	V_o (mV) DC	V_g (mV)	V_o (mV)	V_o/V_g	THD %	I (mV)	II (μV)	III (μV)
43	498.1	10.8	139.7	12.94	5.15	7.093	476.7	451.4
59.2	4.5	6.93	140.41	20.26	1.59	1.883	477.1	465.3

(b)

Parametrelerin belirlenmesinde kullanılan ölçüm devrelerinin şemaları ile elde edilen ölçüm sonuçları, simulasyon programlarına test devresi olarak verildiğinde elde edilen çıkışlar ve bunların ölçü sonuçları ile karşılaştırılması Ek-6'da, analizleri yapılan temel devrelerin simulasyon çıkışları Ek-3'de verilmiştir.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde sunulmuş olan çalışmada, düşük gerilimli devrelerin simülasyonunda sorun çıkaran SPICE BJT modeli yerine yüksek doğruluk sağlayan Geliştirilmiş Ebers-Moll modelinin kullanılmasının gerekliliği araştırılmıştır. Yapılan incelemeler, düşük gerilim tekniği söz konusu olduğunda her iki modelin parametrelerinin de bu bölge için normal çalışma bölgesi parametrelerinden ayrı olarak belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Normal çalışma bölgesinde SPICE BJT modeline göre çok daha doğru temsil eden G.E.M modeli, düşük gerilim bölgesi için standart BJT modelinden elde edilene yakın bir sonuç vermekte ve bu açıdan bakıldığında beklenenin tersi ile karşılaşılmaktadır. Bunun temel nedeni, düşük gerilim uygulamalarında tranzistörlerin aktif bölge ve doyma sınırına yakın bir çalışma bölgesinde bulunmalarıdır. Dolayısıyla Early olayını modelleyen fakirleşmiş bölge normalize yuku q_c her iki modelin bağıntılarında da $q_c \ll 1$ olmakta ve etkinliği azalmaktadır.

Model parametrelerinin bu bölge için iyi bir biçimde belirlenmeleri halinde q_c 'nin etkinliğinin az olması nedeniyle her iki model de aynı simülasyon sonucuna götürmektedir.

Yapılan simülasyonlar ve ölçümler, düşük gerilim tekniği devrelerinin simülasyonu için yüksek doğruluklu bir modelin gerekli olmadığını göstermektedir.

Varılan en önemli sonuç ise, devre tasarımcısının düşük gerilim bölgesi için normal çalışma bölgesindeki-

den farklı model parametreleri belirlemesi ve bunları kullanması zorunluluğudur. Bu açıdan bakıldığında, elde edilen sonuçların düşük gerilimli devre tekniği ile uğraşan tasarımcılara yol göstereceği ve yararlı olacağı açıktır.



KAYNAKLAR

- [1] WIDLAR R. J., Low Voltage Techniques, IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. SC-13, No. 6, December, 1978.
- [2] HUIJSING J.H., LINEBARGER D., Low Voltage Operational Amplifier With Rail to Rail Input and Output Ranges, IEEE, Journal of Solid State Circuits, Vol. SC-20, No. 6, December, 1985.
- [3] FONDERIE J, MARIS M. M., SCHNITGER E. J. and HUIJSING J. H., 1-V Operational Amplifier With Rail to Rail Input and Output Ranges, IEEE, Journal of Solid State Circuits, Vol. 24, No. 6, December, 1989.
- [4] NAGEL L. W., SPICE-2 A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits, Electronic of Berkeley, California, Berkeley, 1975.
- [5] LEBLEBİCİ D., Geliştirilmiş Bir Ebers-Moll Modeli, Rapor (80-14), İ.T.Ü Elektrik Fak. Yuk. Fr. Kur., 1980.
- [6] KUNTMAN H., Ebers-Moll Modeli Üzerinde Yeni Bir Modifikasyon, Doktora Tezi, İ.T.Ü Elektrik Fak., 1982
- [7] KUNTMAN H., Modified Ebers-Moll Model, Elect. Lett., 18, pp 293-294, 1982.
- [8] KUNTMAN H., ÇELİK H., A Non-linear Analysis and Simulation Program for BJT Circuits, Bulletin of The Technical University of Istanbul, Vol. 39, No. 1, pp 89-107, 1986.

- [9] KUNTMAN H., Lineer Tımdevre Tasarımına Yönelik Bir BJT Modeli, Elektrik Muh. 3. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt-2, ss 413-416, Eylül 1989.
- [10] TEKDEMİR E. I., KUNTMAN H., Yüksek Doğruluklu Bir BJT Modelinin SPICE Programına Katılması, (Elektrik Muh. 4. Ulusal Kongresine sunulmuş ve kabul edilmiştir), 1991.
- [11] GETREU I., Modeling The Bipolar Transistor, Tektronix, Inc. Beaverton, Oregon, 1976.
- [12] GURVİT Ş., SPICE-2 BJT Model Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 1986.
- [13] SOCLOF S., Analog Integrated Circuits, California State University-Los Angeles, 1985.
- [14] KUNTMAN H. Bipolar Tranzistorlarda $\beta_F = \beta_F(I_C)$ Değişiminin Modellenmesi İçin Yeni Bir Yöntem, Rapor (82-16), 1983.
- [15] ÇELİK H., Geliştirilmiş Lineer Olmayan Devre Analizi Programı, Bitirme Ödevi, 1985.
- [16] PSPICE Electrical Circuit Simulator, User's Guide.
- [17] SPICE 3C.1 Nutmeg Programmer's Manual.
- [18] SPICE 3 Version 3C1 Users Guide.

EKLER

EK-1

```

10 PRINT CHR$(12):KEY OFF
20 ON ERROR GOTO 970
30 PRINT TAB(3);"BU PROGRAM DUSUK REFERANS GERILIMI
   URETECININ EL-ANALIZINDE BULUNAN,":PRINT
40 PRINT TAB(25);"Rf*VBE1 - Re*VBE2 + Re*Rb*Iak"
50 PRINT TAB(14);"VREF = ";STRING$(38,"-")
60 PRINT TAB(35);"(Rd + Re)":PRINT
70 PRINT "   IFADESININ SONUCUNU G.E.M PARAMETRELERINI
   KULLANARAK HESAPLAR.":PRINT
80 LOCATE 11,3:INPUT"Iso = ",ISO:LOCATE 11,23:INPUT"NEL
   = ",NEL
90 LOCATE 12,3:INPUT"C2 = ",C2:LOCATE 12,23:INPUT"HFEO
   = ",HFEO
100 LOCATE 13,3:INPUT"M = ",M:LOCATE 13,23:INPUT"N
    = ",N
110 LOCATE 14,3:INPUT"RCB = ",RCB:LOCATE 14,23:INPUT"VT
    = ",VT
120 LOCATE 15,3:INPUT"R1 = ",R1:LOCATE 15,23:INPUT"R2
    = ",R2
130 LOCATE 16,3:INPUT"R3 = ",R3:LOCATE 16,23:INPUT"R4
    = ",R4
140 LOCATE 17,3:INPUT"R5 = ",R5:LOCATE 17,23:INPUT"IAK
    = ",IAK
150 LOCATE 18,3:INPUT"VBE1= ",VBE1:LOCATE 18,23:INPUT"VB
    E2= ",VBE2
160 LOCATE 19,3:INPUT"VCE1= ",VCE1:LOCATE 19,23:INPUT"VC
    E2= ",VCE2
170 DIM VB(2):DIM VC(2)
180 VB(1)=VBE1:VB(2)=VBE2:VC(1)=VCE1:VC(2)=VCE2
190 FOR X=1 TO 2
200 A=VC(X)^N
210 B=VB(X)/VT
220 E=EXP(1)
230 IC=ISO*(1+M*A/2)*(E^B-1)+(VC(X)-VB(X))/RCB
240 IB=ISO*(1+M*A/2)*(E^B-1)/HFEO/(1+M*A)+C2*ISO*(E^(B/N
    EL)-1)-(VC(X)-VB(X))
250 VB(X)=IC/IB
260 NEXT
270 HFE1=VB(1):HFE2=VB(2)
280 ERASE VB,VC
290 R=R2+R4

```



```
300 RA=R5/(1+HFE2)+R1*R4/R
310 RB=(R1-HFE1*R5)/(1+HFE1)
320 K1=(R2+R4-RB)/R
330 RC=R2*RB/R
340 K=K1+R1/R
350 RD=RA+RC
360 RE=R3+R2+R4/R
370 RF=RE*K+RD*R4/R
380 VREF=(RF*VBE1-RE*VBE2+RE*RB*IAK)/(RD+RE)
390 LOCATE 22,1:PRINT"VERILERI DEGISTIRMEK ICIN < D >,C
      IKIS ELDE ETMEK ICIN < C > TUSLARINI KULLANINIZ."
400 M$=INKEY$
410 IF M$="D" OR M$="d" THEN 10
420 IF M$="C" OR M$="c" THEN 440
430 GOTO 400
440 PRINT CHR$(12)
450 LOCATE 8,25:PRINT STRING$(30,223)
460 PRINT TAB(35);"SECENEKLER"
470 LOCATE 10,25:PRINT STRING$(30,220)
480 LOCATE 12,29:PRINT"1- YAZICIDAN CIKIS ALMA"
490 LOCATE 14,29:PRINT"2- EKRANA CIKIS ALMA"
500 LOCATE 16,29:PRINT"3- YENI VERI GIRME"
510 LOCATE 20,29:PRINT"4- PROGRAMDAN CIKIS"
520 S$=INKEY$
530 IF S$=1 THEN 710
540 IF S$=2 THEN 580
550 IF S$=3 THEN 10
560 IF S$=4 THEN 980
570 GOTO 520
580 REM ***** EKRANA CIKIS ALMA *****
590 PRINT CHR$(12)
600 PRINT R1 "=";R1;TAB(20);"R2   =" ;R2;TAB(40);"R3
      =" ;R3:PRINT
610 PRINT"R4   =" ;R4;TAB(20);"R5   =" ;R5;TAB(40);"IAK
      =" ;IAK:PRINT
620 PRINT"VBE1 =" ;VBE1;TAB(20);"VBE2 =" ;VBE2:PRINT
630 PRINT"HFE1 =" ;HFE1;TAB(20);"HFE2 =" ;HFE2:PRINT
640 PRINT"OLMAK UZERE G.E.M PARAMETRELERINI KULLANARAK,
      "
650 PRINT CHR$(13)
660 PRINT TAB(15);STRING$(30,223)
670 PRINT TAB(20);"VREF =" ;VREF
680 PRINT TAB(15);STRING$(30,220):PRINT
690 PRINT"BULUNUR."
700 GOTO 920
710 REM ***** YAZICIDAN CIKIS ALMA *****
720 PRINT CHR$(12)
730 LOCATE 13,30:PRINT"LUTFEN BEKLEYINIZ."
740 LOCATE 14,25:PRINT"SONUCLAR YAZICIDAN ALINIYOR."
750 LPRINT "Iso = " ;ISO;TAB(20);"NEL = " ;NEL:LPRINT
```

```
760 LPRINT "C2 = ";C2;TAB(20);"HFEO= ";HFEO:LPRINT
770 LPRINT "M = ";M;TAB(20);"N = ";N:LPRINT
780 LPRINT "RCB = ";RCB;TAB(20);"VT = ";VT:LPRINT
790 LPRINT "VCE1= ";VCE1;TAB(20);"VCE2= ";VCE2:LPRINT
800 LPRINT "R1 =";R1;TAB(20);"R2 =";R2;TAB(40);"R3
    =";R3:LPRINT
810 LPRINT "R4 =";R4;TAB(20);"R5 =";R5;TAB(40);"IAK
    ="IAK:LPRINT
820 LPRINT "VBE1 =";VBE1;TAB(20);"VBE2 =";VBE2:LPRINT
830 LPRINT "HFE1 ="HFE1;TAB(20);"HFE2 =";HFE2:LPRINT
840 LPRINT "OLMAK UZERE G/E/M PARAMETRELERINI KULLANARAK
    ,
850 LPRINT CHR$(13)
860 LPRINT TAB(15);STRING$(30,223)
870 LPRINT TAB(20);"VREF =";VREF
880 LPRINT TAB(15);STRING$(30,220):PRINT
890 LPRINT"BULUNUR."
900 PRINT CHR$(12)
910 LOCATE 12,25:PRINT"CIKIS ISLEMI TAMAMLANMISTIR."
920 LOCATE 22,1:PRINT"DEVAM ETMEK ISTENIRSE < D >, CIKM
    AK ISTENIRSE < C > TUSLARINI KULLANINIZ."
930 M$=INKEY$
940 IF M$="D" OR M$="d" THEN 440
950 IF M$="C" OR M$="c" THEN 980
960 GOTO 930
970 CLS:LOCATE 12,30:PRINT"HATA YAPIYORSUNUZ."GOTO 920
980 PRINT CHR$(12)
990 SYSTEM
1000 END
```

EK-2

```

10 PRINT CHR$(12):KEY OFF
20 ON ERROR GOTO 920
30 PRINT TAB(3);"BU PROGRAM DUSUK REFERANS GERILIMI
   URETECININ EL-ANALIZINDE BULUNAN,":PRINT
40 PRINT TAB(25);"Rf*VBE1 - Re*VBE2 + Re*Rb*Iak"
50 PRINT TAB(14);"VREF = ";STRING$(38,"-")
60 PRINT TAB(35);"(Rd + Rc)":PRINT
70 PRINT "   IFADESININ SONUCUNU SPICE PARAMETRELERINI
   KULLANARAK HESAPLAR.":PRINT
80 LOCATE 11,3:INPUT"Iso = ",ISO:LOCATE 11,23:INPUT"NEL
   = ",NEL
90 LOCATE 12,3:INPUT"C2 = ",C2:LOCATE 12,23:INPUT"HFEM
   = ",HFEM
100 LOCATE 13,3:INPUT"VT
   = ",VT
110 LOCATE 15,3:INPUT"R1 = ",R1:LOCATE 15,23:INPUT"R2
   = ",R2
120 LOCATE 16,3:INPUT"R3 = ",R3:LOCATE 16,23:INPUT"R4
   = ",R4
130 LOCATE 17,3:INPUT"R5 = ",R5:LOCATE 17,23:INPUT"IAK
   = ",IAK
140 LOCATE 18,3:INPUT"VBE1= ",VCE1:LOCATE 19,23:INPUT"VB
   E2= ",VCE2
150 DIM VB(2)
160 VB(1)=VBE1:VB(2)=VBE2
170 FOR X=1 TO 2
180 B=VB(X)/VT
190 E=EXP(1)
200 IC=ISO*(E^B-1)
210 IB=ISO*(E^B-1)/HFEM/+C2*ISO*(E^(B/NEL)-1)
220 VB(X)=IC/IB
230 NEXT
240 HFE1=VB(1):HFE2=VB(2)
250 ERASE VB
260 R=R2+R4
270 RA=R5/(1+HFE2)+R1*R4/R
280 RB=(R1-HFE1*R5)/(1+HFE1)
290 K1=(R2+R4-RB)/R
300 RC=R2*RB/R
310 K=K1+R1/R
320 RD=RA+RC
330 RE=R3+R2+*R4/R
340 RF=RE*K+RD*R4/R
350 VREF=(RF*VBE1-RE*VBE2+RE*RB*IAK)/(RD+RE)
360 LOCATE 22,1:PRINT"VERILERI DEGISTIRMEK ICIN < D >,C
   IKIS ELDE ETMEK ICIN < C > TUSLARINI KULLANINIZ."

```

```
370 M$=INKEY$
380 IF M$="D" OR M$="d" THEN 10
390 IF M$="C" OR M$="c" THEN 410
400 GOTO 370
410 PRINT CHR$(12)
420 LOCATE 8,25:PRINT STRING$(30,223)
430 PRINT TAB(35);"SECENEKLER"
440 LOCATE 10,25:PRINT STRING$(30,220)
450 LOCATE 12,29:PRINT"1- YAZICIDAN CIKIS ALMA"
460 LOCATE 14,29:PRINT"2- EKRANA CIKIS ALMA"
470 LOCATE 16,29:PRINT"3- YENI VERI GIRME"
480 LOCATE 20,29:PRINT"4- PROGRAMDAN CIKIS"
490 S$=INKEY$
500 IF S$=1 THEN 680
510 IF S$=2 THEN 550
520 IF S$=3 THEN 10
530 IF S$=4 THEN 930
540 GOTO 490
550 REM ***** EKRANA CIKIS ALMA *****
560 PRINT CHR$(12)
570 PRINT R1  =";R1;TAB(20);"R2  =";R2;TAB(40);"R3
    =";R3:PRINT
580 PRINT"R4  =";R4;TAB(20);"R5  =";R5;TAB(40);"IAK
    =";IAK:PRINT
590 PRINT"VBE1 =";VBE1;TAB(20);"VBE2 =";VBE2:PRINT
600 PRINT"HFE1 =";HFE1;TAB(20);"HFE2 =";HFE2:PRINT
610 PRINT"OLMAK UZERE SPICE PARAMETRELERINI KULLANARAK,
    "
620 PRINT CHR$(13)
630 PRINT TAB(15);STRING$(30,223)
640 PRINT TAB(20);"VREF =";VREF
650 PRINT TAB(15);STRING$(30,220):PRINT
660 PRINT"BULUNUR."
670 GOTO 870
680 REM ***** YAZICIDAN CIKIS ALMA *****
690 PRINT CHR$(12)
700 LOCATE 13,30:PRINT"LUTFEN BEKLEYINIZ."
710 LOCATE 14,25:PRINT"SONUCLAR YAZICIDAN ALINIYOR."
720 LPRINT "Iso = ";ISO;TAB(20);"NEL = ";NEL:LPRINT
730 LPRINT "C2  = ";C2;TAB(20);"HFEM= ";HFEM:LPRINT
740 LPRINT "VT  = ";VT:LPRINT
750 LPRINT "R1  =";R1;TAB(20);"R2  =";R2;TAB(40);"R3
    =";R3:LPRINT
760 LPRINT "R4  =";R4;TAB(20);"R5  =";R5;TAB(40);"IAK
    ="IAK:LPRINT
770 LPRINT "VBE1 =";VBE1;TAB(20);"VBE2 =";VBE2:LPRINT
780 LPRINT "HFE1 =";HFE1;TAB(20);"HFE2 =";HFE2:LPRINT
790 LPRINT "OLMAK UZERE SPICE PARAMETRELERINI KULLANARAK
    ,"
```

```
800 LPRINT CHR$(13)
810 LPRINT TAB(15);STRING$(30,223)
820 LPRINT TAB(20);"VREF =";VREF
830 LPRINT TAB(15);STRING$(30,220):PRINT
840 LPRINT"BULUNUR."
850 PRINT CHR$(12)
860 LOCATE 12,25:PRINT"CIKIS ISLEMI TAMAMLANMISTIR."
870 LOCATE 22,1:PRINT"DEVAM ETMEK ISTENIRSE < D >, CIKM
    AK ISTENIRSE < C > TUSLARINI KULLANINIZ."
880 M$=INKEY$
890 IF M$="D" OR M$="d" THEN 410
900 IF M$="C" OR M$="c" THEN 930
910 GOTO 880
920 CLS:LOCATE 12,30:PRINT"HATA YAPIYORSUNUZ."GOTO 870
930 PRINT CHR$(12)
940 SYSTEM
950 END
```

EK-3A

REFERANS GERİLİMİ ÜRETECİ

REFERANS GERİLİMİ DEVRESİ

VCC 1 0 1

V1 2 7 0

V2 2 8 0

V3 2 9 0

IAK 1 2 25U

R1 7 3 22K

R2 3 4 120K

R3 6 4 220K

R4 4 0 33K

R5 9 5 470

Q1 5 3 0 E2-T2

Q2 8 5 6 E2-T2

.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85

+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3

+RB=75 RC=30 RE=3

.OP

.END

SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE= 27 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
------	---------	------	---------	------	---------

(1)	1.0000	(2)	.7301	(3)	.6350
(4)	.1436	(5)	.7205	(6)	.2002
(7)	.7301	(8)	.7301	(9)	.7301

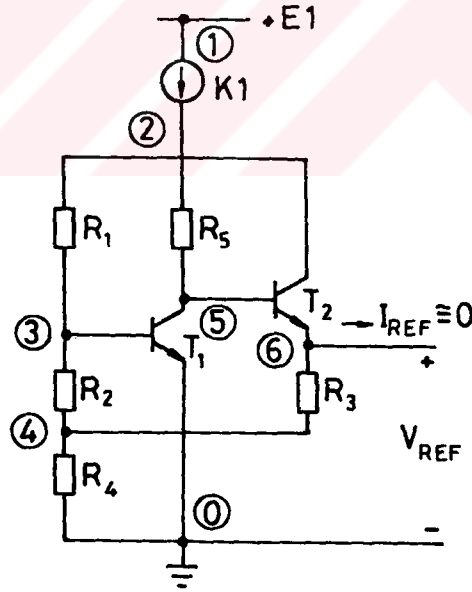
VCC 1 0 1.5

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
------	---------	------	---------	------	---------

(1)	1.5000	(2)	.7301	(3)	.6350
(4)	.1436	(5)	.7205	(6)	.2002
(7)	.7301	(8)	.7301	(9)	.7301

.REFERANS URETECI DEVRESI-GIRIS DOSYASI

```
.T 1'      3      5      0  'NPN'      'M 1'
.T 2'      5      2      6  'NPN'      'M 1'
.R 1'      2      3      22E3
.R 2'      3      4      120E3
.R 3'      6      4      220E3
.R 4'      4      0      33E3
.R 5'      2      5      470
.E 1'      1      0      1
.K 1'      1      2      25E-6
.M 1' 160.6 2.3 4.45E-16 777 1.9 .025 .69 23E6 50 9.5 8E-4
SON
1 .7 .6 .15 .6 .2
```



TIME-1.....

.REFERANS URETICI DEVRESI

T 1	3	5	0	NPN	M	1
T 2	5	2	6	NPN	M	1
R 1	2	3	0.220D+05			
R 2	3	4	0.120D+06			
R 3	6	4	0.220D+06			
R 4	4	0	0.330D+05			
R 5	2	5	0.470D+03			
E 1	1	0	0.100D+01			
K 1	1	2	0.250D-04			

MODELDE KULLANILAN PARAMETRE DEGER NO : 1

BFO = 160.6 BR = 2.3 ISO = 0.445D-15 C2 = 777.0
NEL = 1.9 M = 0.025 N = 0.690 RCB = 0.230D+08
BVCEO = 50.0 NN = 9.500 K = 0.800D-03

BASLANGIC DEGERLERI : (VOLT)

V 1 = 1.0000 V 2 = 0.7300 V 3 = 0.6350 V 4 = 0.1436
V 5 = 0.7205 V 6 = 0.2002

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)

ITERASYON SAYISI: 4
V 1 = 1.0000 V 2 = 0.7343 V 3 = 0.6380 V 4 = 0.1443
V 5 = 0.7247 V 6 = 0.2016

E 1	1	0	0.150D+01
K 1	1	2	0.250D-04

MODELDE KULLANILAN PARAMETRE DEGER NO : 1

BFO = 160.6 BR = 2.3 ISO = 0.445D-15 C2 = 777.0
NEL = 1.9 M = 0.025 N = 0.690 RCB = 0.230D+08
BVCEO = 50.0 NN = 9.500 K = 0.800D-03

BASLANGIC DEGERLERI : (VOLT)

V 1 = 1.5000 V 2 = 0.7301 V 3 = 0.6350 V 4 = 0.1436
V 5 = 0.7205 V 6 = 0.2002

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)

ITERASYON SAYISI: 4
V 1 = 1.5000 V 2 = 0.7343 V 3 = 0.6380 V 4 = 0.1443
V 5 = 0.7247 V 6 = 0.2016

REFERANS GERILIM DEVRESI-R_v=1M OHM

```
VCC 1 0 1
V1 2 7 0
V2 2 8 0
V3 2 9 0
IAK 1 2 25U
R1 7 3 22K
R2 3 4 120K
R3 6 4 220K
R4 4 0 33K
R5 9 5 470
RY 6 0 1MEG
Q1 5 3 0 E2-T2
Q2 8 5 6 E2-T2
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.OP
.END
```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	.7301	(3)	.6348
(4)	.1424	(5)	.7205	(6)	.1886
(7)	.7301	(8)	.7301	(9)	.7301

TIME-1.....

.200 mV REFERANS GERILIMI URETECI-R_v=1M

```
.
T 1 3 5 0 NPN M 1
T 2 5 2 6 NPN M 1
R 1 2 3 0.220D+05
R 2 3 4 0.120D+06
R 3 6 4 0.220D+06
R 4 4 0 0.330D+05
R 5 2 5 0.470D+03
R 6 6 0 0.100D+07
E 1 1 0 0.100D+01
K 1 1 2 0.250D-04
```

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)
ITERASYON SAYISI: 10

V 1 = 1.0000 V 2 = 0.7342 V 3 = 0.6378 V 4 = 0.1431
V 5 = 0.7247 V 6 = 0.1900

EK-3B

DARLINGTON DEVRESİ

0030X GERİLİM DARLINGTON DEVRESİ (RC=1K)

VCCP 1 0 1

VCCN 0 2 1

Q1 11 8 2 E2-T2

Q2 9 8 10 E2-T2

Q3 9 9 1 P1-Q1

Q4 8 9 1 P1-Q1

Q5 2 7 6 P1-Q1

Q6 1 3 13 E2-T2

IAK 1 8 5U

IB 1 4 50N

R1 10 2 10K

R2 7 2 15K

RC 1 5 1K

VC 5 11 0

VIN 4 3 0

VQE6 13 7 0

VQE5 8 6 0

.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=55

+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3

+RB=75 RC=30 RE=3

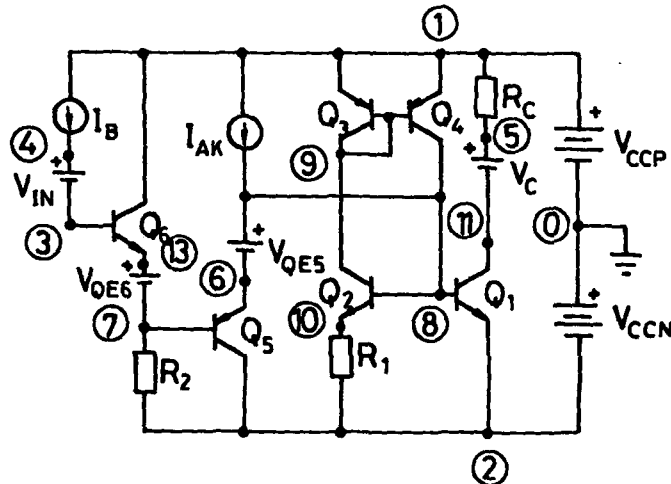
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20

+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6

+RB=50 RC=225 RE=16.4

.OP

.END



 SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000
(3)	-.3907	(4)	-.3907
(5)	.9746	(6)	-.3597
(7)	-.9655	(8)	-.3597
(9)	.4134	(10)	-.9549
(11)	.9746	(13)	-.9655

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
 NAME CURRENT

VCCP	-4.132D-05
VCCN	-4.132D-05
VC	2.543D-05
VIN	5.000D-08
VQE6	2.083D-06
VQE5	9.033D-06

TOTAL POWER DISSIPATION 7.58D-05 WATTS

OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

	Q1	Q5	Q6
MODEL	E2-T2	P1-Q1	E2-T2
IB	2.63E-07	-2.14E-07	5.00E-08
IC	2.54E-05	-8.82E-06	2.03E-06
VBE	.640	-.606	.575
VBC	-1.33	.345E-01	-1.39
VCE	1.97	-.640	1.97
BETADC	96.9	41.2	40.7
BETAAC	.135E+03	43.4	67.1

DUSUK GERILIM DARLINGTON DEVRESI RY=1K IB=100N

SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000
(3)	-.2985	(4)	-.2985
(5)	.6255	(6)	-.2887
(7)	-.9020	(8)	-.2887
(9)	.3934	(10)	-.9037
(11)	.6255	(13)	-.9020

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
------	---------

VCCP	-4.046D-04
VCCN	-4.046D-04
VC	3.745D-04
VIN	1.000D-07
VQE6	6.252D-06
VQE5	1.201D-05

TOTAL POWER DISSIPATION 8.03D-04 WATTS

OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

	Q1	Q5	Q6
MODEL	E2-T2	P1-Q1	E2-T2
IB	2.22E-06	-2.80E-07	1.00E-07
IC	3.75E-04	-1.17E-05	6.15E-06
VBE	.711	-.613	.604
VBC	-.914	.980E-01	-1.30
VCE	1.63	-.711	1.90
BETADC	.168E+03	41.9	61.5
BETAAC	.194E+03	43.9	95.1

DUSUK GERILIM DARLINGTON DEVRESI RY=1K IB=150N

SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000
(3)	-.2066	(4)	-.2066
(5)	-.7850	(6)	-.2427
(7)	-.8260	(8)	-.2427
(9)	.3847	(10)	-.8662
(11)	-.7850	(13)	-.8260

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
------	---------

VCCP	-1.828D-03
VCCN	-1.828D-03
VC	1.785D-03
VIN	1.500D-07
VQE6	1.150D-05
VQE5	3.842D-06

TOTAL POWER DISSIPATION 3.65D-03 WATTS

OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

MODEL	Q1 E2-T2	Q5 P1-Q1	Q6 E2-T2
IB	1.40E-05	-9.56E-08	1.50E-07
IC	1.78E-03	-3.75E-06	1.14E-05
VBE	.757	-.583	.619
VBC	.542	.174	-1.21
VCE	.215	-.757	1.83
BETADC	.128E+03	39.2	75.7
BETAAC	.196E+03	42.3	.112E+03

```

DUSUK GERILIM DARL.DEV (RC=1K)
VCCP 1 0 1
VCCN 0 2 1
Q1 11 8 2 E2-T2
Q2 9 8 10 E2-T2
Q3 9 9 1 P1-Q1
Q4 8 9 1 P1-Q1
Q5 2 7 6 P1-Q1
Q6 1 3 13 E2-T2
IAK 1 8 5U
IB 1 4 105.75N
R1 10 2 10K
R2 7 2 15K
RC 1 5 1K
RG 14 15 600
C1 3 14 200N
VG 15 0 AC 10.2M SIN(0,10.2M,1K)
VC 5 11 0
VGIN 4 3 0
VDE6 13 7 0
VDE5 8 6 0
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OP
.AC LIN 1 1K 1K
.TRAN .1M 1M
.FOUR 1K V(11,0)
.PRINT AC V(11)
.PRINT TRAN V(11)
.END

```

SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000
(3)	-.2879	(4)	-.2879
(5)	.4947	(6)	-.2805
(7)	-.8937	(8)	-.2805
(9)	.3917	(10)	-.8972
(11)	.4947	(13)	-.8937
(14)	.0000	(15)	.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
VCCP	-5.373D-04
VCCN	-5.373D-04
VG	.000D+00
VC	5.053D-04
VIN	1.057D-07
VQE6	6.811D-06
VQE5	1.196D-05

TOTAL POWER DISSIPATION 1.07D-03 WATTS

OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

	Q1	Q5	Q6
MODEL	E2-T2	P1-Q1	E2-T2
IB	2.89E-06	-2.79E-07	1.06E-07
IC	5.05E-04	-1.17E-05	6.71E-06
VBE	.720	-.613	.606
VBC	-.775	.106	-1.29
VCE	1.49	-.720	1.89
BETADC	.175E+03	41.9	63.4
BETAAC	.197E+03	43.9	97.4
FT	3.07E+17	7.09E+15	4.12E+15

*** AC ANALYSIS ***

FREQ	V(11)
1.000E+03	1.421E-01

*** FOURIER ANALYSIS ***

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(11)

DC COMPONENT = 4.866D-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000D+03	1.423D-01	-179.976
2	2.000D+03	8.043D-03	89.963
3	3.000D+03	1.250D-04	-1.065
4	4.000D+03	1.322D-05	88.911

DUSUK GERILIM DARLINGTON DEVRESI RY=1K IB=120.18 VG=6.25M

SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000
(3)	-.2613	(4)	-.2613
(5)	.0086	(6)	-.2612
(7)	-.8721	(8)	-.2612
(9)	.3879	(10)	-.8815
(11)	.0086	(13)	-.8721
(14)	.0000	(15)	.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS	
NAME	CURRENT
VCCP	-1.028D-03
VCCN	-1.028D-03
VG	.000D+00
VC	9.914D-04
VIN	1.202D-07
VQE6	8.269D-06
VQE5	1.100D-05

TOTAL POWER DISSIPATION 2.05D-03 WATTS

OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

	Q1 E2-T2	Q5 F1-Q1	Q6 E2-T2
MODEL			
IB	5.36E-06	-2.57E-07	1.20E-07
IC	9.92E-04	-1.07E-05	8.15E-06
VBE	.739	-.611	.611
VBC	-.270	.128	-1.26
VCE	1.01	-.739	1.87
BETADC	.185E+03	41.8	67.8
BETAAC	.200E+03	43.9	.103E+03
FT	5.95E+17	6.53E+15	5.01E+15

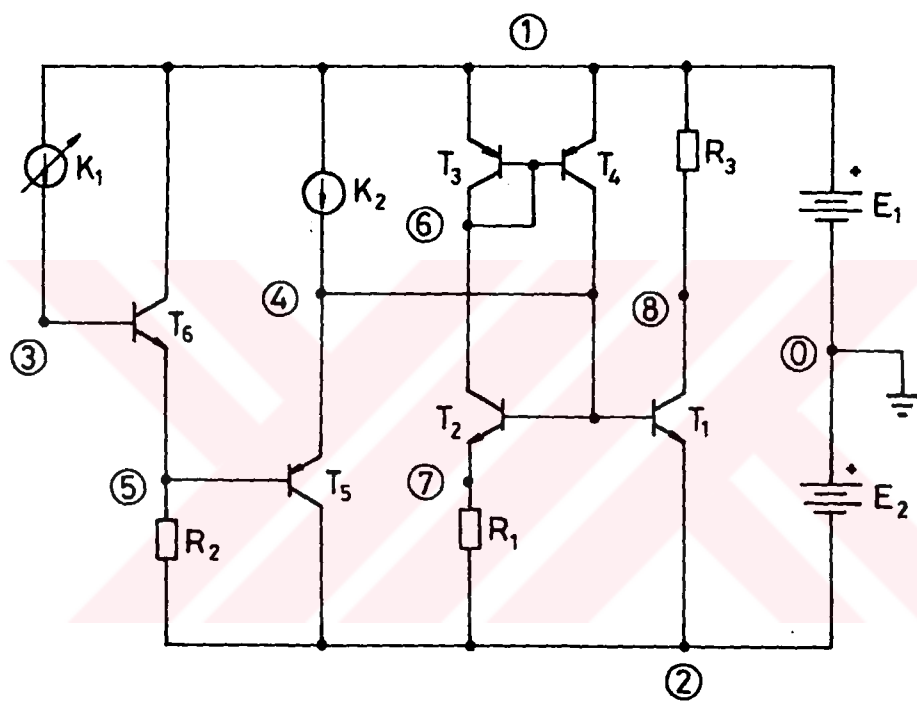
*** AC ANALYSIS ***

FREQ	V(11)
1.000E+03	1.409E-01

*** FOURIER ANALYSIS ***

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(11)
DC COMPONENT = 5.750D-03

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000D+03	1.406D-01	-179.976
2	2.000D+03	2.915D-03	89.803
3	3.000D+03	4.772D-05	-177.456
4	4.000D+03	4.171D-06	80.046



TIME-1.....

.DARLINGTON DEVRESI.

T 1	4	8	2	NPN	M	1
T 2	4	6	7	NPN	M	1
T 3	6	6	1	PNP	M	2
T 4	6	4	1	PNP	M	2
T 5	5	2	4	PNP	M	2
T 6	3	1	5	NPN	M	1
R 1	7	2	0.100D+05			
R 2	5	2	0.150D+05			
R 3	1	8	0.100D+04			
E 1	1	0	0.100D+01			
E 2	0	2	0.100D+01			
K 1	1	3	0.500D-07			
K 2	1	4	0.500D-05			

MODELDE KULLANILAN PARAMETRE DEGER NO : 1

BFO = 160.6 BR = 2.3 ISO = 0.445D-15 C2 = 777.0
NEL = 1.9 M = 0.025 N = 0.690 RCB = 0.230D+08
BVCBO = 50.0 NN = 9.500 K = 0.800D-03

MODELDE KULLANILAN PARAMETRE DEGER NO : 2

BFO = 37.1 BR = 1.0 ISO = 0.600D-15 C2 = 7.0
NEL = 1.4 M = 0.025 N = 0.720 RCB = 0.970D+07
BVCBO = 50.0 NN = 9.500 K = 0.800D-03

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)

V 1 = 1.0000 V 2 = -1.0000 V 3 = -0.3017 V 4 = -0.2928
V 5 = -0.9067 V 6 = 0.3925 V 7 = -0.9092 V 8 = 0.7055

TRANZISTOR 1 :

VBE = 0.7072 (V) VCE = 1.7055 (V) VCB = 0.9983 (V)
IB = 0.230D-05(A) IC = 0.294D-03(A) IE = -0.297D-03(A)

TRANZISTOR 5 :

VBE = 0.6139 (V) VCE = 0.7072 (V) VCB = 0.0933 (V)
IB = -0.337D-06 (A) IC = -0.109D-04 (A) IE = 0.112D-04(A)

TRANZISTOR 6 :

VBE = 0.6050 (V) VCE = 1.9067 (V) VCB = 1.3017 (V)
IB = 0.500D-07 (A) IC = 0.583D-05 (A) IE = -0.588D-05 (A)

DIRENC 1 : VR = 0.0908 VOLT. IR = 0.908D-05 AMPER.
DIRENC 2 : VR = 0.0933 VOLT. IR = 0.622D-05 AMPER.
DIRENC 3 : VR = 0.2945 VOLT. IR = 0.294D-03 AMPER.

K 1 1 3 0.100D-06

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)

V 1 = 1.0000 V 2 = -1.0000 V 3 = -0.2300 V 4 = -0.2503
V 5 = -0.8486 V 6 = 0.3842 V 7 = -0.8751 V 8 = -0.4935

TRANZISTOR 1 :

VBE = 0.7497 (V) VCE = 0.5065 (V) VCB = -0.2432 (V)
IB = 0.105D-04 (A) IC = 0.149D-02 (A) IE = -0.150D-02 (A)

TRANZISTOR 5 :

VBE = 0.5983 (V) VCE = 0.7497 (V) VCB = 0.1514 (V)
IB = -0.175D-06 (A) IC = -0.598D-05 (A) IE = 0.616D-05 (A)

TRANZISTOR 6 :

VBE = 0.6186 (V) VCE = 1.8486 (V) VCB = 1.2300 (V)
IB = 0.100D-06 (A) IC = 0.982D-05 (A) IE = -0.992D-05 (A)

DIRENC 1 : VR = 0.1249 VOLT. IR = 0.125D-04 AMPER.

DIRENC 2 : VR = 0.1514 VOLT. IR = 0.101D-04 AMPER.

DIRENC 3 : VR = 1.4935 VOLT. IR = 0.149D-02 AMPER.

K 1 1 3 0.150D-06

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)

V 1 = 1.0000 V 2 = -1.0000 V 3 = -0.1565 V 4 = -0.2444
V 5 = -0.7848 V 6 = 0.3832 V 7 = -0.8701 V 8 = -0.8579

TRANZISTOR 1 :

VBE = 0.7556 (V) VCE = 0.1421 (V) VCB = -0.6136 (V)
IB = 0.164D-04 (A) IC = 0.186D-02 (A) IE = -0.187D-02 (A)

TRANZISTOR 5 :

VBE = 0.5404 (V) VCE = 0.7556 (V) VCB = 0.2152 (V)
IB = -0.190D-08 (A) IC = -0.667D-06 (A) IE = 0.669D-06 (A)

TRANZISTOR 6 :

VBE = 0.6283 (V) VCE = 1.7848 (V) VCB = 1.1565 (V)
IB = 0.150D-06 (A) IC = 0.142D-04 (A) IE = -0.143D-04 (A)

DIRENC 1 : VR = 0.1299 VOLT. IR = 0.130D-04 AMPER.

DIRENC 2 : VR = 0.2152 VOLT. IR = 0.143D-04 AMPER.

DIRENC 3 : VR = 1.8579 VOLT. IR = 0.186D-02 AMPER.

TIME-1.....

.DARLINGTON DEVRESI.

.
T 1 4 8 2 NPN M 1
T 2 4 6 7 NPN M 1
T 3 6 6 1 PNP M 2
T 4 6 4 1 PNP M 2
T 5 5 2 4 PNP M 2
T 6 3 1 5 NPN M 1
R 1 7 2 0.100D+05
R 2 5 2 0.150D+05
R 3 1 8 0.100D+04
R 4 9 10 0.600D+03
C 1 9 3
E 1 1 0 0.100D+01
E 2 0 2 0.100D+01
K 1 1 3 0.100D-06
K 2 1 4 0.500D-05
Q 1 8 0
U 1 10 0 0.690D-02 4 SIN

MODELDE KULLANILAN PARAMETRE DEGER NO : 1

BFD = 160.6 BR = 2.3 ISO = 0.445D-15 C2 = 777.0
NEL = 1.9 M = 0.025 N = 0.690 RCB = 0.230D+08
BVCEO = 50.0 NN = 9.500 K = 0.800D-03

MODELDE KULLANILAN PARAMETRE DEGER NO : 2

BFD = 37.1 BR = 1.0 ISO = 0.600D-15 C2 = 7.0
NEL = 1.4 M = 0.02 N = 0.720 CB = 0.970D+07
BVCEO = 50.0 NN = 9.50 K = 0.800D-03

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)

V 1 = 1.0000 V 2 = -1.0000 V 3 = -0.2542 V 4 = -0.2613
V 5 = -0.8688 V 6 = 0.3862 V 7 = -0.8841 V 8 = 0.0152
V 9 = 0.0000 V10 = 0.0000

TRANZISTOR 1 :

VBE = 0.7387 (V) VCE = 1.0152 (V) VCB = 0.2764 (V)
IB = 0.705D-05 (A) IC = 0.985D-03 (A) IE = -0.992D-03(A)

TRANZISTOR 5 :

VBE = 0.6075 (V) VCE = 0.7387 (V) VCB = 0.1312 (V)
IB = -0.253D-06 (A) IC = -0.853D-05 (A) IE = 0.878D-05(A)

TRANZISTOR 6 :

VBE = 0.6146 (V) VCE = 1.8688 (V) VCB = 1.2542 (V)
IB = 0.830D-07 (A) IC = 0.841D-05 (A) IE = -0.849D-05(A)

DIRENC 1 : VR = 0.1159 VOLT. IR = 0.116D-04 AMPER.
DIRENC 2 : VR = 0.1312 VOLT. IR = 0.875D-05 AMPER.
DIRENC 3 : VR = 0.9848 VOLT. IR = 0.985D-03 AMPER.
DIRENC 4 : VR = 0.0000 VOLT. IR = 0.186D-19 AMPER.

HARMONIK KATSAYILARI, 8 VE 0 DUGUMLERI ARASI ICINDIR.

BIRINCI HARMONIK:
GENLIK: 0.142 VOLT.
FAZ: -90.000 DERECE.

HARMONIK (N)	HARMONIK DIST. (%)	GENLIK DIST. (VOLT.)	FAZ DIST. (DERECE.)
2	0.1349D+01	0.1922D-02	0.000
3	0.9944D-01	0.1417D-03	-90.000
4	0.2978D-02	0.4243D-05	0.000

K 1 1 3 0.635D-07
U 1 10 0 0.106D-01 4 SIN

CALISMA NOKTASI GERILIMLERI: (VOLT)
V 1 = 1.0000 V 2 = -1.0000 V 3 = -0.2822 V 4 = -0.2786
V 5 = -0.8914 V 6 = 0.3895 V 7 = -0.8981 V 8 = 0.4932
V 9 = 0.0000 V10 = 0.0000

TRANZISTOR 1 :
VBE = 0.7214 (V) VCE = 1.4932 (V) VCB = 0.7719 (V)
IB = 0.378D-05(A) IC = 0.507D-03 (A) IE = -0.511D-03(A)

TRANZISTOR 5 :
VBE = 0.6128 (V) VCE = 0.7214 (V) VCB = 0.1086 (V)
IB = -0.313D-06 (A) IC = -0.104D-04 (A) IE = 0.108D-04 (A)

TRANZISTOR 6 :
VBE = 0.6092 (V) VCE = 1.8914 (V) VCB = 1.2822 (V)
IB = 0.635D-07 (A) IC = 0.686D-05 (A) IE = -0.692D-05(A)

DIRENC 1 : VR = 0.1019 VOLT. IR = 0.102D-04 AMPER.
DIRENC 2 : VR = 0.1086 VOLT. IR = 0.724D-05 AMPER.
DIRENC 3 : VR = 0.5068 VOLT. IR = 0.507D-03 AMPER.
DIRENC 4 : VR = 0.0000 VOLT. IR = 0.263D-20 AMPER.

HARMONIK KATSAYILARI, 8 VE 0 DUGUMLERI ARASI ICINDIR.

BIRINCI HARMONIK:

GENLIK: 0.142 VOLT.

FAZ: -90.000 DERECE.

HARMONIK (N)	HARMONIK DIST. (%)	GENLIK DIST. (VOLT.)	FAZ DIST. (DERECE.)
2	0.5305D+01	0.7531D-02	0.000
3	0.2208D-01	0.3135D-04	90.000
4	0.1251D-01	0.1776D-04	0.000

```
DUSUK GERILIM DARL.DEV (RC=1K OHM)-SPICE 3C
VCCP 1 0 1
VCCN 0 2 1
D1 8 4 2 B101
D2 6 4 7 B101
D3 6 6 1 B102
D4 4 6 1 B102
D5 2 5 4 B102
D6 1 3 5 B101
IAK 1 4 5U
IB 1 3 43N
R1 7 2 10K
R2 5 2 15K
RC 1 8 1K
VB 3 0 AC 10.8M SIN(-295.74M,10.8M,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OP
.TRAN 25U 1M
.FOUR 1K V(8)
.END
```

Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 5.14749 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
-----	-----	-----	-----	-----
0	0	0.498116	0	0
1	1000	0.139698	175.911	1
2	2000	0.00709338	81.3357	0.0507764
3	3000	0.000476661	-92.709	0.00341207
4	4000	0.000451441	-103.96	0.00323155
5	5000	0.000457593	-107.45	0.00327558
6	6000	0.000449396	-110.96	0.0032169
7	7000	0.000439882	-114.37	0.0031488
8	8000	0.000429035	-117.74	0.00307115
9	9000	0.000416928	-121.06	0.00298449


```

CUSBK GERILIM DARL.DEV (RC=1K OHM)-SPICE 3C
VCCP 1 0 1
VCCN 0 2 1
Q1 8 4 2 B101
Q2 6 4 7 B101
Q3 6 6 1 B102
Q4 4 6 1 B102
Q5 2 5 4 B102
Q6 1 3 5 B101
IAK 1 4 5U
IB 1 3 59.2N
R1 7 2 10K
R2 5 2 15K
RC 1 8 1K
VB 3 0 AC 6.93M SIN(-267M,6.93M,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OP
.TRAN 25U 1M
.FOUR 1K V(8)
.END

```

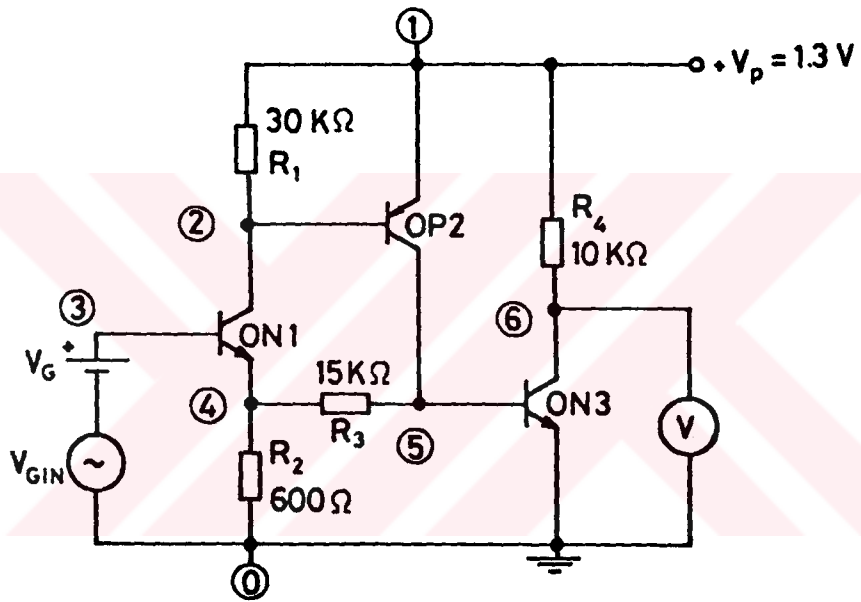
Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 1.58771 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
0	0	0.0044887	0	0
1	1000	0.140406	175.912	1
2	2000	0.00188318	81.0426	0.0134124
3	3000	0.000477058	-110.24	0.00339771
4	4000	0.000465283	-103.94	0.00331384
5	5000	0.000461367	-107.41	0.00328596
6	6000	0.000453169	-110.83	0.00322757
7	7000	0.00044359	-114.22	0.00315935
8	8000	0.000432683	-117.56	0.00308166
9	9000	0.000420511	-120.85	0.00299497

EK-3C

ON KUVVETLENDİRİCİ



```
** LOW-VOLTAGE PREAMP.**
*****
VP 1 0 1.3
QN1 2 3 4 E2-T2
QP2 5 2 1 P1-T1
QN3 6 5 0 E2-T2
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
VGIN 3 0 AC 200U SIN(.671865,200U,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.PLOT TRAN V(6)
.END
```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.3000	(2)	.6377	(3)	.6719
(4)	.0330	(5)	.6696	(6)	.5406

FOURIER ANALYSIS

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(6)
DC COMPONENT = 5.345470E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT
1	1.000E+03	1.406E-01	1.000E+00
2	2.000E+03	6.061E-03	4.310E-02
3	3.000E+03	1.517E-04	1.078E-03
4	4.000E+03	1.473E-06	1.048E-05
5	5.000E+03	6.460E-07	4.594E-06
6	6.000E+03	1.462E-06	1.040E-05
7	7.000E+03	1.228E-06	8.729E-06
8	8.000E+03	3.364E-07	2.392E-06
9	9.000E+03	1.201E-06	8.540E-06

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 4.311169E+00 PERCENT

TOTAL JOB TIME

70.14

** LOW-VOLTAGE PREAMP.**

```
VP 1 0 1.3
QN1 2 3 4 E2-T2
QP2 5 2 1 P1-T1
QN3 6 5 0 E2-T2
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
VGIN 3 0 AC 248U SIN(.671622 248U 1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.85 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.PLOT TRAN V(6)
.END
```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.3000	(2)	.6381	(3)	.6716
(4)	.0328	(5)	.6636	(6)	.6943

FOURIER ANALYSIS

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(6)
DC COMPONENT = 6.865139E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT
1	1.000E+03	1.411E-01	1.000E+00
2	2.000E+03	7.728E-03	5.475E-02
3	3.000E+03	2.532E-04	1.794E-03
4	4.000E+03	3.452E-06	2.446E-05
5	5.000E+03	2.450E-06	1.736E-05
6	6.000E+03	1.173E-06	8.309E-06
7	7.000E+03	1.409E-06	9.984E-06
8	8.000E+03	6.700E-07	4.747E-06
9	9.000E+03	4.130E-07	2.926E-06

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 5.477971E+00 PERCENT

TOTAL JOB TIME

71.02

```

** LOW-VOLTAGE PREAMP.**
*****
VP 1 0 1.3
QN1 2 3 4 E2-T2
QP2 5 2 1 P1-T1
QN3 6 5 0 E2-T2
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
VGIN 3 0 AC 345U SIN(.67127 345U 1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.PLOT TRAN V(6)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.3000	(2)	.6387	(3)	.6713
(4)	.0325	(5)	.6549	(6)	.8653

FOURIER ANALYSIS

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(6)
DC COMPONENT = 8.540686E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT
1	1.000E+03	1.438E-01	1.000E+00
2	2.000E+03	1.123E-02	7.814E-02
3	3.000E+03	5.415E-04	3.767E-03
4	4.000E+03	1.550E-05	1.078E-04
5	5.000E+03	2.146E-06	1.493E-05
6	6.000E+03	2.636E-06	1.834E-05
7	7.000E+03	1.683E-06	1.171E-05
8	8.000E+03	7.631E-07	5.308E-06
9	9.000E+03	1.096E-06	7.625E-06

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 7.822701E+00 PERCENT

TOTAL JOB TIME 71.79

```
** LOW-VOLTAGE PREAMP.**
.OPT ITL1=7500 ABSTOL=1E-6
VP 1 0 1.3
QN1 2 3 4 B101
OP2 5 2 1 B102
QN3 6 5 0 B101
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
VGIN 3 0 AC 201U SIN(.67183 201U 1K)
.MODEL B101 NBT(IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 mr=0 C4=0 br=2.345 NKR=0.5)
.MODEL B102 PBT(IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=1E-4 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6 NKF=.5
+VJC=.7 mr=0 C4=0 br=1 NKR=0.5)
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.END
```

Fourier analysis for v(6):

No. Harmonics: 10, THD: 4.08075 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Norm. Mag
0	0	0.53965	0
1	1000	0.140657	1
2	2000	0.00561282	0.0399044
3	3000	0.000500508	0.00355837
4	4000	0.000468013	0.00332734
5	5000	0.000459875	0.00326949
6	6000	0.000451712	0.00321146
7	7000	0.000442117	0.00314324
8	8000	0.000431222	0.00306578
9	9000	0.000419071	0.00297939

```
** LOW-VOLTAGE PREAMP.**
.OPT IFL1=7500 ABSTOL=1E-6
VP 1 0 1.3
ON1 2 3 4 B101
OP2 5 2 1 B102
ON3 6 5 0 B101
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
*VG 3 7 DC .67127
VGIN 3 0 AC 250U SIN(.67158 250U 1K)
.MODEL B101 NBT(IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 mr=0 C4=0 br=2.345 NKR=0.5)
.MODEL B102 PBT(IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=1E-4 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6 NKF=.5
+VJC=.7 mr=0 C4=0 br=1 NKR=0.5)
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.END
Fourier analysis for v(6):
No. Harmonics: 10, THD: 5.27033 %, Gridsize: 200,
```

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
-----	-----	-----	-----	-----
0	0	0.694706	0	0
1	1000	0.140774	175.911	1
2	2000	0.00731834	81.3395	0.0519865
3	3000	0.000544273	-72.734	0.00386629
4	4000	0.000470247	-104.07	0.00334045
5	5000	0.000459215	-107.52	0.00326208
6	6000	0.000451035	-110.97	0.00320397
7	7000	0.000441474	-114.38	0.00313606
8	8000	0.000430586	-117.75	0.00305871
9	9000	0.000418439	-121.07	0.00297242

```

** LOW-VOLTAGE PREAMP.**
.OPT ITL1=7500 ABSTOL=1E-6
VP 1 0 1.3
ON1 2 3 4 B101
OP2 5 2 1 B102
ON3 6 5 0 B101
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
VGIN 3 0 AC 355U SIN(.67121 355U 1K)
.MODEL B101 NBT(IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 mr=0 C4=0 br=2.345 NKR=0.5)
.MODEL B102 PBT(IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=1E-4 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6 NKF=.5
+VJC=.7 mr=0 C4=0 br=1 NKR=0.5)
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.END

```

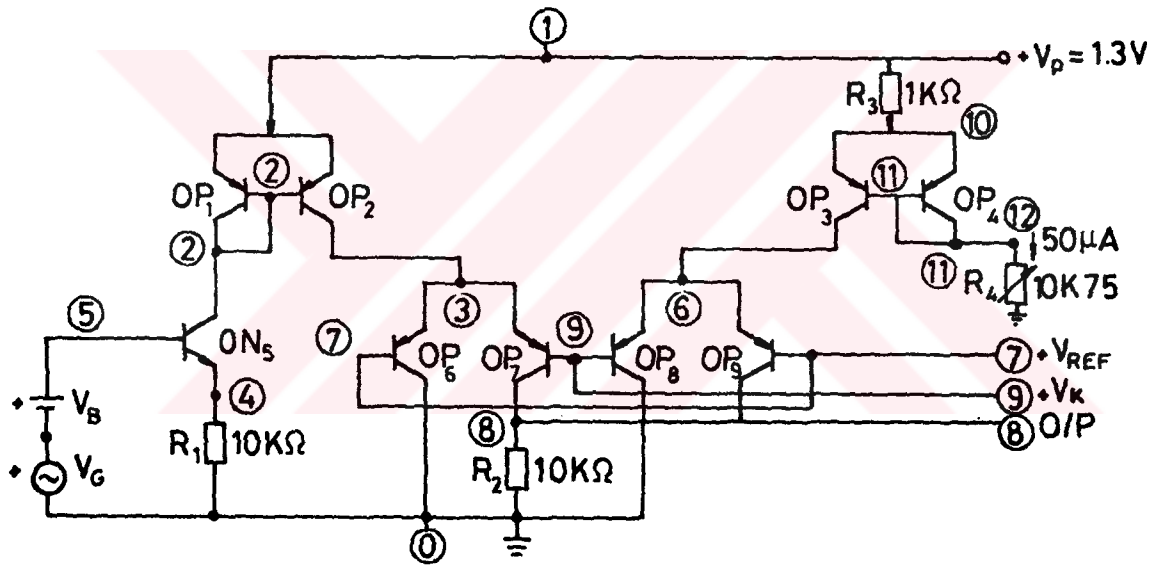
Fourier analysis for v(6):

No. Harmonics: 10, THD: 7.81072 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Norm. Mag
0	0	0.867199	0
1	1000	0.143952	1
2	2000	0.0111621	0.0775403
3	3000	0.000766268	0.00532309
4	4000	0.000490832	0.0034097
5	5000	0.000466425	0.00324015
6	6000	0.000458133	0.00318254
7	7000	0.000448381	0.0031148
8	8000	0.000437302	0.00303784
9	9000	0.000424937	0.00295194

EK-3D

GERİLİM KONTROLLÜ KUVVETLENDİRİCİ



*** EXAR LOW VOLTAGE-VOLTAGE CONTROLLED AMP. CIRCUIT ***

```

VP 1 0 1.3
V1 11 12 0
QP1 2 2 1 P1-T1
QP2 3 2 1 P1-T1
QP3 6 11 10 P1-T1
QP4 11 11 10 P1-T1
QN5 2 5 4 E2-T2
QP61 0 7 3 P1-T1
QP71 8 9 3 P1-T1
QP81 0 9 6 P1-T1
QP91 8 7 6 P1-T1
R1 4 0 10K
R2 8 0 10K
R3 1 10 1K
R4 12 0 10.765K
VB 5 13 .7
VREF 7 0 0.2
VCON 9 0 0.15
VIN 13 0 AC 16.65M SIN(0,16.65M,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(8) (125M,160M)
.FOUR 1K V(8)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.3000	(2)	.6887	(3)	.7565	(4)	.0871
(5)	.7000	(6)	.8077	(7)	.2000	(8)	.1405
(9)	.1500	(10)	1.2035	(11)	.5382	(12)	.5382
(13)	0.0000						

FOURIER ANALYSIS
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(8)
DC COMPONENT = 1.406212E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT
1	1.000E+03	1.000E-02	1.000E+00
2	2.000E+03	7.716E-05	7.716E-03
3	3.000E+03	2.903E-06	2.903E-04
4	4.000E+03	1.453E-07	1.453E-05

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 7.721970E-01 PERCENT

*** EXAR LOW VOLTAGE-VOLTAGE CONTROLLED AMP. CIRCUIT ***

```

VP 1 0 1.3
V1 11 12 0
QP1 2 2 1 P1-T1
QP2 3 2 1 P1-T1
QP3 6 11 10 P1-T1
QP4 11 11 10 P1-T1
QNS 2 5 4 E2-T2
QP61 0 7 3 P1-T1
QP71 8 9 3 P1-T1
QP81 0 9 6 P1-T1
QP91 8 7 6 P1-T1
R1 4 0 10K
R2 8 0 10K
R3 1 10 1K
R4 12 0 10.765K
VB 5 13 .7
VREF 7 0 0.2
VCON 9 0 0.2
VIN 13 0 AC 29M SIN(0,29M,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(8) (245M,280M)
.FOUR 1K V(8)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.3000	(2)	.6887	(3)	.7914	(4)	.0871
(5)	.7000	(6)	.8411	(7)	.2000	(8)	.2638
(9)	.2000	(10)	1.2036	(11)	.5382	(12)	.5382
(13)	0.0000						

FOURIER ANALYSIS
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(8)
DC COMPONENT = 2.639739E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT
1	1.000E+03	1.001E-02	1.000E+00
2	2.000E+03	1.457E-04	1.456E-02
3	3.000E+03	8.594E-06	8.588E-04
4	4.000E+03	4.910E-07	4.906E-05

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.458160E+00 PERCENT

*** EXAR LOW VOLTAGE-VOLTAGE CONTROLLED AMP. CIRCUIT ***

```

VP 1 0 1.3
V1 11 12 0
QP1 2 2 1 P1-T1
QP2 3 2 1 P1-T1
QP3 6 11 10 P1-T1
QP4 11 11 10 P1-T1
QN5 2 5 4 E2-T2
QP61 0 7 3 P1-T1
QP71 8 9 3 P1-T1
QP81 0 9 6 P1-T1
QP91 8 7 6 P1-T1
R1 4 0 10K
R2 8 0 10K
R3 1 10 1K
R4 12 0 10.765K
VB 5 13 .7
VREF 7 0 0.2
VCON 9 0 0.25
VIN 13 0 AC 108M SIN(0,108M,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(8) (375M,405M)
.FOUR 1K V(8)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.3000	(2)	.6887	(3)	.8062	(4)	.0871
(5)	.7000	(6)	.8580	(7)	.2000	(8)	.3877
(9)	.2500	(10)	1.2036	(11)	.5383	(12)	.5383
(13)	0.0000						

FOURIER ANALYSIS
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(8)
DC COMPONENT = 3.885881E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT
1	1.000E+03	1.003E-02	1.000E+00
2	2.000E+03	8.557E-04	8.531E-02
3	3.000E+03	1.140E-04	1.137E-02
4	4.000E+03	1.872E-05	1.867E-03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.608875E+00 PERCENT

*** EXAR LOW VOLTAGE-VOLTAGE CONTROLLED AMP. CIRCUIT ***

.OPT ITL1=7500 ABSTOL=1E-6

VP 1 0 1.3

V1 11 12 0

OP1 2 2 1 B102

OP2 3 2 1 B102

OP3 6 11 10 B102

OP4 11 11 10 B102

ON5 2 5 4 B101

OP6 0 7 3 B102

OP7 8 9 3 B102

OP8 0 9 6 B102

OP9 8 7 6 B102

R1 4 0 10K

R2 8 0 10K

R3 1 10 1K

R4 12 0 10.765K

VB 5 13 .7

VREF 7 0 0.2

VCON 9 0 0.15

VIN 13 0 AC 16.63M SIN(0,16.63M,1K)

.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)

.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)

.OP

.TRAN 25U 1M

.PLOT TRAN V(8)

.FOUR 1K V(8)

.END

Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 0.959467 %, Griggsiz: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Norm. Mag.
0	0	0.142206	0
1	1000	0.0100677	1
2	2000	4.49681e-005	0.00446658
3	3000	3.39278e-005	0.00336997
4	4000	3.36309e-005	0.00334048

```

*** EXAR LOW VOLTAGE-VOLTAGE CONTROLLED AMP. CIRCUIT ***
.OPT ITL1=7500 ABSTOL=1E-6
VP 1 0 1.3
V1 11 12 0
OP1 2 2 1 B102
OP2 3 2 1 B102
OP3 6 11 10 B102
OP4 11 11 10 B102
ON5 2 5 4 B101
OP6 0 7 3 B102
OP7 8 9 3 B102
OP8 0 9 6 B102
OP9 8 7 6 B102
R1 4 0 10K
R2 8 0 10K
R3 1 10 1K
R4 12 0 10.765K
VB 5 13 .7
VREF 7 0 0.2
VCON 9 0 0.2
VIN 13 0 AC 28.5M SIN(0,28.5M,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(8)
.FOUR 1K V(8)
.END

```

Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 1.4104 %, Grigsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Norm. Mag.
0	0	0.268077	0
1	1000	0.00999848	1
2	2000	0.000112188	0.0112206
3	3000	3.44208e-005	0.0034426
4	4000	3.37937e-005	0.00337988

*** EXAR LOW VOLTAGE-VOLTAGE CONTROLLED AMP. CIRCUIT ***

.OPT ITL1=7500 ABSTOL=1E-6

VP 1 0 1.3

V1 11 12 0

OP1 2 2 1 B102

OP2 3 2 1 B102

OP3 6 11 10 B102

OP4 11 11 10 B102

ON5 2 5 4 B101

OP6 0 7 3 B102

OP7 8 9 3 B102

OP8 0 9 6 B102

OP9 8 7 6 B102

R1 4 0 10K

R2 8 0 10K

R3 1 10 1K

R4 12 0 10.765K

VB 5 13 .7

VREF 7 0 0.2

VCON 9 0 0.25

VIN 13 0 AC 105.5M SIN(0,105.5M,1K)

.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86

+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6

+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)

.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426

+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6

+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)

.OP

.TRAN 25U 1M

.PLOT TRAN V(8)

.FOUR 1K V(8)

.END

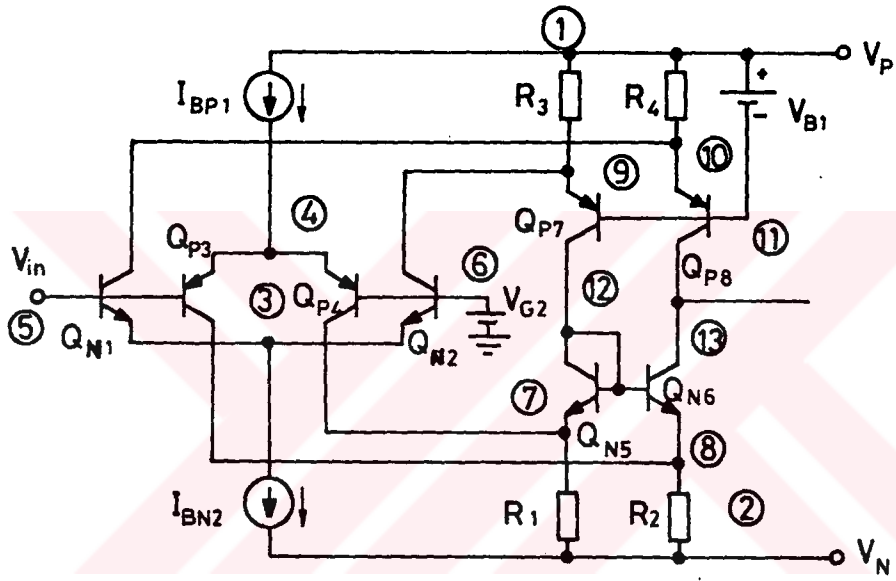
Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 8.20811 %, Griggsiz: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Norm. Mag.
0	0	0.3941	0
1	1000	0.0100499	1
2	2000	0.000812266	0.0808235
3	3000	0.000112436	0.0111878
4	4000	5.20906e-005	0.00518321

EK-3E

HATTAN HATTA ÇIKIŞ DALGALANMALI KUVVETLENDİRİCİ




```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
QN1 10 5 3 E2-T2
QN2 9 6 3 E2-T2
QP3 8 5 4 P1-T1
QP4 7 6 4 P1-T1
QN5 12 12 7 E2-T2
QN6 13 12 8 E2-T2
QP7 12 11 9 P1-T1
QP8 13 11 10 P1-T1
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 500K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC .52M SIN(-300U,.52M,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
+CJC=.435E-12 CJE=.942E-12 CJS=1.883E-12
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+CJC=.9471E-12 CJE=.21E-12
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000	(3)	-.6583	(4)	.6650
(5)	-300.0E-06	(6)	0.0000	(7)	-.7671	(8)	-.7655
(9)	.7597	(10)	.7620	(11)	.2000	(12)	-.2060
(13)	.1059						

FOURIER ANALYSIS TEMPERATURE = 27 DEG C
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(13)
DC COMPONENT = 1.028815E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000E+03	1.405E-01	1.000E+00	1.794E+02
2	2.000E+03	2.936E-03	2.089E-02	8.862E+01
3	3.000E+03	6.602E-05	4.698E-04	-3.239E+01
4	4.000E+03	3.103E-05	2.208E-04	-9.162E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.090403E+00 PERCENT

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
QN1 10 5 3 E2-T2
QN2 9 6 3 E2-T2
QP3 8 5 4 P1-T1
QP4 7 6 4 P1-T1
QN5 12 12 7 E2-T2
QN6 13 12 8 E2-T2
QP7 12 11 9 P1-T1
QP8 13 11 10 P1-T1
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 500K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC .46M SIN(+435U,.46M,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
+CJC=.435E-12 CJE=.942E-12 CJS=1.883E-12
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+CJC=.9471E-12 CJE=.21E-12
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000	(3)	-.6580	(4)	.6654
(5)	435.0E-06	(6)	0.0000	(7)	-.7641	(8)	-.7664
(9)	.7624	(10)	.7592	(11)	.2000	(12)	-.2005
(13)	-.1054						

FOURIER ANALYSIS TEMPERATURE = 27 DEG C
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(13)
DC COMPONENT = -1.080440E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000E+03	1.403E-01	1.000E+00	1.794E+02
2	2.000E+03	2.618E-03	1.866E-02	8.849E+01
3	3.000E+03	4.684E-05	3.339E-04	-4.767E+01
4	4.000E+03	3.037E-05	2.165E-04	-8.982E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.867505E+00 PERCENT

* EXAR LOW VOLTAGE-INPUT STAGE WITH RAIL-TO-RAIL .

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
ON1 10 5 3 B101
ON2 9 6 3 B101
OP3 8 5 4 B102
OP4 7 6 4 B102
ON5 12 12 7 B101
ON6 13 12 8 B101
OP7 12 11 9 B102
OP8 13 11 10 B102
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 500K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC .536M SIN(-305U,.536M,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OPTIONS NOPAGE NOMODE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

Fourier analysis for v(13):

No. Harmonics: 10, THD: 1.91961 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
-----	-----	-----	-----	-----
0	0	0.0968642	0	0
1	1000	0.141142	175.911	1
2	2000	0.00243009	81.117	0.0172173
3	3000	0.000479702	-94.081	0.00339871
4	4000	0.000468502	-103.92	0.00331936
5	5000	0.000462857	-107.32	0.00327936
6	6000	0.000454539	-110.83	0.00322043
7	7000	0.000445332	-114.17	0.0031552
8	8000	0.000434066	-117.62	0.00307538
9	9000	0.000422193	-120.85	0.00299125

* EXAR LOW VOLTAGE-INPUT STAGE WITH RAIL-TO-RAIL

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
ON1 10 5 3 B101
ON2 9 6 3 B101
OP3 8 5 4 B102
OP4 7 6 4 B102
ON5 12 12 7 B101
ON6 13 12 8 B101
OP7 12 11 9 B102
OP8 13 11 10 B102
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 500K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC .48M SIN(415U,.48M,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OPTIONS NOPAGE NOMODE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

Fourier analysis for v(13):

No. Harmonics: 10, THD: 1.75248 %, Gridsize: 200, :

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
0	0	-0.1034	0	0
1	1000	0.141351	175.911	1
2	2000	0.00216651	81.097	0.0153272
3	3000	0.000478733	-96.405	0.00338684
4	4000	0.000469461	-104.1	0.00332124
5	5000	0.000465332	-106.97	0.00329203
6	6000	0.000455858	-111.07	0.00322501
7	7000	0.000447475	-113.98	0.0031657
8	8000	0.000435149	-117.82	0.0030785
9	9000	0.000423068	-120.84	0.00299303

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
QN1 10 5 3 E2-T2
QN2 9 6 3 E2-T2
QP3 8 5 4 P1-T1
QP4 7 6 4 P1-T1
QN5 12 12 7 E2-T2
QN6 13 12 8 E2-T2
QP7 12 11 9 P1-T1
QP8 13 11 10 P1-T1
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 280K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC 1.015M SIN(-920U,1.015M,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
+CJC=.435E-12 CJE=.942E-12 CJS=1.883E-12
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+CJC=.9471E-12 CJE=.21E-12
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000	(3)	-.6586	(4)	.6647
(5)	-920.0E-06	(6)	0.0000	(7)	-.7695	(8)	-.7645
(9)	.7574	(10)	.7642	(11)	.2000	(12)	-.2107
(13)	.1507						

FOURIER ANALYSIS
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(13)
DC COMPONENT = 1.451840E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000E+03	1.417E-01	1.000E+00	1.796E+02
2	2.000E+03	5.473E-03	3.861E-02	8.918E+01
3	3.000E+03	2.429E-04	1.713E-03	-5.284E+00
4	4.000E+03	1.327E-05	9.361E-05	-9.244E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 3.865266E+00 PERCENT

```

VN  2  0 -1
VG2  6  0  0
IBP1 1  4 100U
IBN2 3  2 100U
QN1 10  5  3 E2-T2
QN2  9  6  3 E2-T2
QP3  8  5  4 P1-T1
QP4  7  6  4 P1-T1
QN5 12 12  7 E2-T2
QN6 13 12  8 E2-T2
QP7 12 11  9 P1-T1
QP8 13 11 10 P1-T1
R1   7  2  4.7K
R2   8  2  4.7K
R3   1  9  4.7K
R4   1 10  4.7K
R5  13  0 280K
VB1  1 11 .8
VIN 5 0 AC 800U SIN(550U,800U,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
+CJC=.435E-12 CJE=.942E-12 CJS=1.883E-12
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+CJC=.9471E-12 CJE=.21E-12
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000	(3)	-.6579	(4)	.6654
(5)	550.0E-06	(6)	0.0000	(7)	-.7637	(8)	-.7665
(9)	.7628	(10)	.7588	(11)	.2000	(12)	-.1996
(13)	-.0799						

FOURIER ANALYSIS

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(13)
DC COMPONENT = -8.452358E-02

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000E+03	1.412E-01	1.000E+00	1.796E+02
2	2.000E+03	4.576E-03	3.240E-02	8.913E+01
3	3.000E+03	9.042E-05	6.402E-04	-1.278E+01
4	4.000E+03	1.303E-05	9.226E-05	-8.808E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 3.240443E+00 PERCENT

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
QN1 10 5 3 E2-T2
QN2 9 6 3 E2-T2
QP3 8 5 4 P1-T1
QP4 7 6 4 P1-T1
QN5 12 12 7 E2-T2
QN6 13 12 8 E2-T2
QP7 12 11 9 P1-T1
QP8 13 11 10 P1-T1
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 280K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC 735U SIN(1090U,735U,1K)
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1 VA=85
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
+CJC=.435E-12 CJE=.942E-12 CJS=1.883E-12
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100E-6
+CJC=.9471E-12 CJE=.21E-12
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	1.0000	(2)	-1.0000	(3)	-.6576	(4)	.6657
(5)	.0011	(6)	0.0000	(7)	-.7615	(8)	-.7669
(9)	.7647	(10)	.7568	(11)	.2000	(12)	-.1955
(13)	-.1795						

FOURIER ANALYSIS
FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(13)
DC COMPONENT = -1.836973E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)
1	1.000E+03	1.416E-01	1.000E+00	1.796E+02
2	2.000E+03	4.129E-03	2.916E-02	8.910E+01
3	3.000E+03	5.578E-05	3.940E-04	-2.166E+01
4	4.000E+03	1.504E-05	1.062E-04	-8.756E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.916866E+00 PERCENT

* EXAR LOW VOLTAGE-INPUT STAGE WITH RAIL-TO-RAIL

```

VF  1  0  1
VN  2  0 -1
VG2 6  0  0
IBP1 1  4 100U
IBN2 3  2 100U
ON1 10  5  3 B101
ON2  9  6  3 B101
OP3  8  5  4 B102
OP4  7  6  4 B102
CN5 12 12  7 B101
ON6 13 12  8 B101
OP7 12 11  9 B102
OP8 13 11 10 B102
R1   7  2  4.7K
R2   8  2  4.7K
R3   1  9  4.7K
R4   1 10  4.7K
R5  13  0 280K
VB1  1 11 .8
VIN 5  0 AC 1.033M SIN(-1m,1.033m,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OPTIONS NOPAGE NOMODE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

Fourier analysis for v(13):

No. Harmonics: 10, THD: 3.53606 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
-----	-----	-----	-----	-----
0	0	0.151001	0	0
1	1000	0.140619	175.91	1
2	2000	0.00482168	81.2785	0.034289
3	3000	0.000539786	-73.506	0.00383865
4	4000	0.000463918	-103.98	0.00329912
5	5000	0.000459063	-107.38	0.00326459
6	6000	0.000450873	-110.9	0.00320635
7	7000	0.000441397	-114.29	0.00313896
8	8000	0.000430488	-117.68	0.00306138
9	9000	0.000418363	-120.98	0.00297516

* EXAR LOW VOLTAGE-INPUT STAGE WITH RAIL-TO-RAIL _

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
ON1 10 5 3 B101
ON2 9 6 3 B101
OP3 8 5 4 B102
OP4 7 6 4 B102
ON5 12 12 7 B101
ON6 13 12 8 B101
OP7 12 11 9 B102
OP8 13 11 10 B102
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 280K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC 818U SIN(510U,818U,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OPTIONS NOPAGE NOMODE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

Fourier analysis for v(13):

No. Harmonics: 10, THD: 3.01783 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
-----	-----	-----	-----	-----
0	0	-0.078556	0	0
1	1000	0.140401	175.911	1
2	2000	0.00406546	81.2433	0.0289561
3	3000	0.000484951	-89.538	0.00345404
4	4000	0.000463717	-103.99	0.00330281
5	5000	0.000461028	-107.24	0.00328366
6	6000	0.000452675	-111.07	0.00322416
7	7000	0.000442554	-114.22	0.00315207
8	8000	0.000431383	-117.86	0.00307251
9	9000	0.000418435	-120.9	0.00298029

* EXAR LOW VOLTAGE-INPUT STAGE WITH RAIL-TO-RAIL

```

VP 1 0 1
VN 2 0 -1
VG2 6 0 0
IBP1 1 4 100U
IBN2 3 2 100U
DN1 10 5 3 B101
QN2 9 6 3 B101
QP3 8 5 4 B102
QP4 7 6 4 B102
QN5 12 12 7 B101
QN6 13 12 8 B101
QP7 12 11 9 B102
QP8 13 11 10 B102
R1 7 2 4.7K
R2 8 2 4.7K
R3 1 9 4.7K
R4 1 10 4.7K
R5 13 0 280K
VB1 1 11 .8
VIN 5 0 AC 754.5u SIN(1.075M,754.5U,1K)
.MODEL B101 NBT (IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=2.345 NKR=.5)
.MODEL B102 PBT (IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6
+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=1 NKR=.5)
.OPTIONS NOPAGE NOMODE
.OP
.TRAN 25U 1M
.PLOT TRAN V(13)
.FOUR 1K V(13)
.END

```

Fourier analysis for v(13):

No. Harmonics: 10, THD: 2.72734 %, Gridsize: 200, .

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
0	0	-0.17948	0	0
1	1000	0.141484	175.911	1
2	2000	0.00366683	81.2305	0.0259169
3	3000	0.00048258	-93.665	0.00341084
4	4000	0.000468698	-104.08	0.00331273
5	5000	0.000465151	-107.06	0.00328766
6	6000	0.000457049	-111.08	0.0032304
7	7000	0.000446231	-114.13	0.00315393
8	8000	0.000435244	-117.74	0.00307628
9	9000	0.000421806	-120.93	0.0029813

EK-4

$V_{CB}=0$ ya da sıfıra çok yakın olduğu bölgelerde transistorun I_C ve I_B akımları GEM için Bölüm-2.1.2'de (2.31) (2.32), Spice BJT Modeli için ise Bölüm-2.1.3'de (2.33), (2.34) eşitlikleri ile verilmiştir. Bu eşitliklerden,

$$I_{SO}(SPI) = I_{SO}(GEM) \cdot \left(1 + \frac{M}{2} \cdot V_{BE}^N\right)$$

$$\beta_{FM}(SPI) = \beta_{FO}(GEM) \cdot \left(1 + M \cdot V_{BE}^N\right)$$

$$I_{SE}(SPI) = C_2(SPI) \cdot I_{SO}(SPI) = C_2(GEM) \cdot I_{SO}(GEM)$$

$$C_2(GEM) = C_2(SPI) \cdot \left(1 + \frac{M}{2} \cdot V_{BE}^N\right)$$

eşitliklerini elde edebiliriz.

$$0.57 \leq V_{BE} \leq 0.76$$

$$0.0275 \leq M \leq 0.03$$

$$0.567 \leq N \leq 0.62$$

olduğunu düşünürsek ve $V_{BE}(\min)$, $V_{BE}(\max)$, $M(\min)$, $M(\max)$ $N(\min)$, $N(\max)$ değerlerini ele alırsak,

$$(0.987325) \cdot I_{SO}(SPI) \leq I_{SO}(GEM) \leq (0.99389) \cdot I_{SO}(SPI)$$

$$(0.9750) \cdot \beta_{FM}(SPI) \leq \beta_{FO}(GEM) \leq (0.98096) \cdot \beta_{FM}(SPI)$$

$$(1.01284) \cdot C_2(SPI) \leq C_2(GEM) \leq (1.0097) \cdot C_2(SPI)$$

elde ederiz.

EK-5

```

** LOW-VOLTAGE PREAMP.**
.OPT ITL1=7500 ABSTOL=1E-6
VP 1 0 1.3
ON1 2 3 4 B101
OP2 5 2 1 B102
ON3 6 5 0 B101
R1 1 2 30K
R2 4 0 500
R3 4 5 15K
R4 1 6 10K
*VG 3 7 DC .67127
VGIN 3 0 AC 250U SIN(.67158 250U 1K)
.MODEL B101 NBT(IS=4.355E-16 BF=202.5 NF=1 C2=464.2 NE=1.86
+IKF=26.88E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.028 MJC=.433 RCB=29.41E6
+NKF=.5 VJC=.7 mr=0 C4=0 br=2.345 NKR=0.5)
.MODEL B102 PBT(IS=4.755E-16 BF=59.2 NF=1 C2=9.46 NE=1.426
+IKF=1E-4 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.039 MJC=.46 RCB=50E6 NKF=.5
+VJC=.7 mr=0 C4=0 br=1 NKR=0.5)
.OP
.TRAN 20U 1M
.FOUR 1K V(6)
.END
Fourier analysis for v(6):
No. Harmonics: 10, THD: 5.27033 %, Gridsize: 200,

```

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
-----	-----	-----	-----	-----
0	0	0.694706	0	0
1	1000	0.140774	175.911	1
2	2000	0.00731834	81.3395	0.0519865
3	3000	0.000544273	-72.734	0.00386629
4	4000	0.000470247	-104.07	0.00334045
5	5000	0.000459215	-107.52	0.00326208
6	6000	0.000451035	-110.97	0.00320397
7	7000	0.000441474	-114.38	0.00313606
8	8000	0.000430586	-117.75	0.00305871
9	9000	0.000418439	-121.07	0.00297242

DUSUK GERILIM DARL.DEV (RC=1K OHM)

VCCP 1 0 1

VCCN 0 2 1

Q1 8 4 2 B101

Q2 6 4 7 B101

Q3 6 6 1 B102

Q4 4 6 1 B102

Q5 2 5 4 B102

Q6 1 3 5 B101

IAK 1 4 5U

IB 1 3 59.2N

R1 7 2 10K

R2 5 2 15K

RC 1 8 1K

VG 3 0 AC 6.93M SIN(-267M,6.93M,1K)

.MODEL B101 NBT (IS=13.5E-16 BF=240 NF=1 C2=1822 NE=1.94

+IKF=35E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.076 MJC=.425 RCB=27E6

+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=3.4 NKR=.5)

.MODEL B102 PBT (IS=12.1E-16 BF=28 NF=1 C2=512.4 NE=1.85

+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.116 MJC=.475 RCB=14E6

+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=.37 NKR=.5)

.OP

.TRAN 25u 1M

.FOUR 1K V(8)

.END

Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 1.94335 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
0	0	-0.55936	0	.0
1	1000	0.132045	175.914	1
2	2000	0.00226643	-98.242	0.0171641
3	3000	0.00069284	-152.49	0.00524701
4	4000	0.000233677	-101.01	0.00176968
5	5000	0.000450776	-96.814	0.00341381
6	6000	0.000454804	-111.02	0.00344432
7	7000	0.000419972	-114.83	0.00318052
8	8000	0.000410057	-117.43	0.00310544
9	9000	0.00039864	-120.78	0.00301898

DUSUK GERILIM DARL.DEV (RC=1K OHM)

VCCP 1 0 1

VCCN 0 2 1

Q1 8 4 2 B101

Q2 6 4 7 B101

Q3 6 6 1 B102

Q4 4 6 1 B102

Q5 2 5 4 B102

Q6 1 3 5 B101

IAK 1 4 5U

IB 1 3 43N

R1 7 2 10K

R2 5 2 15K

RC 1 8 1K

VB 3 0 AC 10.8M SIN(-296.74M,10.8M,1K)

.MODEL B101 NBT (IS=13.5E-16 BF=240 NF=1 C2=1822 NE=1.94

+IKF=35E-3 RB=75 RC=30 RE=3 MF=.076 MJC=.425 RCB=27E6

+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=3.4 NKR=.5)

.MODEL B102 PBT (IS=12.1E-16 BF=28 NF=1 C2=512.4 NE=1.85

+IKF=100E-6 RB=50 RC=225 RE=16.4 MF=.116 MJC=.475 RCB=14E6

+NKF=.5 VJC=.7 MR=0 C4=0 BR=.37 NKR=.5)

.OP

.TRAN 25u 1M

.FOUR 1K V(8)

.END

Fourier analysis for v(8):

No. Harmonics: 10, THD: 1.89332 %, Gridsize: 200,

Harmonic	Frequency	Magnitude	Phase	Norm. Mag
0	0	0.0121996	0	0
1	1000	0.197655	175.913	1
2	2000	0.00333239	81.1239	0.0168596
3	3000	0.000727441	-126.15	0.00368035
4	4000	0.000647056	-103.9	0.00327366
5	5000	0.000651413	-107.44	0.0032957
6	6000	0.000639835	-110.84	0.00323713
7	7000	0.000626323	-114.23	0.00316877
8	8000	0.000610919	-117.58	0.00309083
9	9000	0.000593728	-120.87	0.00300386

EK-6

OKUTULACAK VERI GIRIS DOSYASI : NPN.DAT

VBE=VCE	IC(DLC)	IB(DLC)	BF(DLC)
.57	1.636E-06	2.055E-08	79.6107
.58	2.414E-06	2.868E-08	84.17015
.59	3.584E-06	4.023E-08	89.08776
.6	5.265E-06	5.601E-08	94.00107
.61	.0000078	7.862E-08	99.2114
.62	1.147E-05	1.099E-07	104.3676
.63	1.701E-05	1.545E-07	110.0971
.64	2.509E-05	2.168E-07	115.7288
.65	3.701E-05	3.045E-07	121.5435
.66	5.418E-05	4.255E-07	127.3326
.67	.0000798	5.983E-07	133.3779
.68	.0001164	8.38E-07	138.9022
.69	.0001704	1.173E-06	145.2695
.7	.0002476	1.641E-06	150.8836
.71	.0003581	2.292E-06	156.2391
.72	.0005132	3.188E-06	160.9787
.73	.0007243	4.39E-06	164.9886
.74	.001011	6.014E-06	168.1077
.75	.001392	8.191E-06	169.9426
.76	.001877	1.099E-05	170.7916
.77	.002483	1.461E-05	169.9521

OKUTULACAK VERI GIRIS DOSYASI : FNP.DAT

VBE=VCE	IC(DLC)	IB(DLC)	BF(DLC)
.46	2.556E-08	1.592E-09	16.05528
.47	3.779E-08	2.156E-09	17.52783
.48	5.598E-08	2.939E-09	19.0473
.49	8.189E-08	3.985E-09	20.54956
.5	1.217E-07	5.459E-09	22.1313
.51	1.793E-07	7.565E-09	23.70126
.52	2.66E-07	1.051E-08	25.30923
.53	3.872E-07	1.449E-08	26.72188
.54	5.712E-07	2.02E-08	28.27723
.55	8.394E-07	2.818E-08	29.78708
.56	1.226E-06	3.934E-08	31.16421
.57	1.793E-06	5.496E-08	32.62373
.58	2.626E-06	7.736E-08	33.94519
.59	3.686E-06	1.051E-07	35.07136
.6	5.505E-06	1.52E-07	36.21711
.61	7.86E-06	2.12E-07	37.07547
.62	1.113E-05	2.954E-07	37.67772
.63	1.562E-05	4.113E-07	37.97715
.64	2.171E-05	5.72E-07	37.95455
.65	2.971E-05	7.914E-07	37.54107
.66	3.873E-05	1.051E-06	36.85062

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
 KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-spi.dat
 KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC(I)	IC(II)
.57	1.636E-06	1.638E-06	1.638526E-06
.58	2.414E-06	2.411E-06	2.412182E-06
.59	3.584E-06	3.548E-06	3.55131E-06
.6	5.265E-06	5.222E-06	5.227846E-06
.61	.0000078	7.683E-06	7.696241E-06
.62	1.147E-05	.0000113	1.133011E-05
.63	1.701E-05	1.662E-05	1.667975E-05
.64	2.509E-05	2.443E-05	2.455526E-05
.65	3.701E-05	3.589E-05	3.614925E-05
.66	5.418E-05	5.268E-05	5.321727E-05
.67	.0000798	7.722E-05	7.834416E-05
.68	.0001164	.000113	1.153349E-04
.69	.0001704	.0001648	1.697908E-04
.7	.0002476	.0002396	2.499583E-04
.71	.0003581	.0003463	3.67976E-04
.72	.0005132	.0004969	5.41717E-04
.73	.0007243	.0007059	7.974896E-04
.74	.001011	.0009903	1.174025E-03
.75	.001392	.001368	1.728342E-03
.76	.001877	.001855	2.544378E-03

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
 KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-ikf.dat
 KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC(I)	IC(II)
.57	1.636E-06	1.639E-06	1.638526E-06
.58	2.414E-06	2.412E-06	2.412182E-06
.59	3.584E-06	3.551E-06	3.55131E-06
.6	5.265E-06	5.227E-06	5.227846E-06
.61	.0000078	7.694E-06	7.696241E-06
.62	1.147E-05	.1	1.133011E-05
.63	1.701E-05	1.667E-05	1.667975E-05
.64	2.509E-05	2.454E-05	2.455526E-05
.65	3.701E-05	3.613E-05	3.614925E-05
.66	5.418E-05	5.318E-05	5.321727E-05
.67	.0000798	7.828E-05	7.834416E-05
.68	.0001164	11520	1.153349E-04
.69	.0001704	.0001696	1.697908E-04
.7	.0002476	.0002497	2.499583E-04
.71	.0003581	.0003675	3.67976E-04
.72	.0005132	.000541	5.41717E-04
.73	.0007243	.0007964	7.974896E-04
.74	.001011	.001172	1.174025E-03
.75	.001392	.001726	1.728342E-03
.76	.001877	.00254	2.544378E-03

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC[% (I)]	IC[% (II)]
.57	1.636E-06	.1222491	.1544015
.58	2.414E-06	.1242738	7.530458E-02
.59	3.584E-06	1.004466	.9121085
.6	5.265E-06	.8167143	.7056746
.61	.0000078	1.500002	1.330253
.62	1.147E-05	1.482128	1.219611
.63	1.701E-05	2.292761	1.941496
.64	2.509E-05	2.630524	2.131285
.65	3.701E-05	3.026207	2.325721
.66	5.418E-05	2.76855	1.776909
.67	.0000798	3.233078	1.82436
.68	.0001164	2.92096	.9150329
.69	.0001704	3.286394	.3575125
.7	.0002476	3.231013	.9524687
.71	.0003581	3.29517	2.757891
.72	.0005132	3.176151	5.5567
.73	.0007243	2.540379	10.10488
.74	.001011	2.047482	16.12512
.75	.001392	1.724135	24.1625
.76	.001877	1.17208	35.55557

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC[% (I)]	IC[% (II)]
.57	1.636E-06	.1833721	.1544015
.58	2.414E-06	8.284917E-02	7.530458E-02
.59	3.584E-06	.9207618	.9121085
.6	5.265E-06	.7217398	.7056746
.61	.0000078	1.358983	1.330253
.62	1.147E-05	871739.6	1.219611
.63	1.701E-05	1.598825	1.941496
.64	2.509E-05	2.192104	2.131285
.65	3.701E-05	2.37773	2.325721
.66	5.418E-05	1.8457	1.776909
.67	.0000798	1.90476	1.82436
.68	.0001164	9.896907E+09	.9150329
.69	.0001704	.4654871	.3575125
.7	.0002476	.8481486	.9524687
.71	.0003581	2.624569	2.757891
.72	.0005132	5.416987	5.5567
.73	.0007243	9.954442	10.10488
.74	.001011	15.92482	16.12512
.75	.001392	23.99425	24.1625
.76	.001877	35.32233	35.55557

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npni-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npni-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npni-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB(I)	IB(II)
.57	2.055E-08	3.616E-08	3.620655E-08
.58	2.868E-08	4.642E-08	4.648186E-08
.59	4.023E-08	5.995E-08	6.003225E-08
.6	5.601E-08	7.792E-08	7.804046E-08
.61	7.862E-08	1.02E-07	1.021615E-07
.62	1.099E-07	1.344E-07	1.347294E-07
.63	1.545E-07	1.786E-07	1.790518E-07
.64	2.168E-07	2.39E-07	2.398406E-07
.65	3.045E-07	3.223E-07	3.23838E-07
.66	4.255E-07	4.377E-07	4.4073E-07
.67	5.983E-07	5.987E-07	6.044821E-07
.68	8.38E-07	8.238E-07	8.3529E-07
.69	1.173E-06	1.139E-06	1.162435E-06
.7	1.641E-06	1.582E-06	1.628472E-06
.71	2.292E-06	.0000022	2.295359E-06
.72	3.188E-06	3.061E-06	3.253482E-06
.73	4.39E-06	4.247E-06	4.634846E-06
.74	6.014E-06	5.862E-06	6.632501E-06
.75	8.191E-06	8.023E-06	9.529055E-06
.76	1.099E-05	1.086E-05	1.373858E-05

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npni-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npni-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npni-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB(I)	IB(II)
.57	2.055E-08	3.617E-08	3.620655E-08
.58	2.868E-08	4.644E-08	4.648186E-08
.59	4.023E-08	5.997E-08	6.003225E-08
.6	5.601E-08	7.796E-08	7.804046E-08
.61	7.862E-08	1.021E-07	1.021615E-07
.62	1.099E-07	1.346E-07	1.347294E-07
.63	1.545E-07	1.789E-07	1.790518E-07
.64	2.168E-07	2.396E-07	2.398406E-07
.65	3.045E-07	3.226E-07	3.23838E-07
.66	4.255E-07	4.44E-07	4.4073E-07
.67	5.983E-07	6.04E-07	6.044821E-07
.68	8.38E-07	8.347E-07	8.3529E-07
.69	1.173E-06	1.162E-06	1.162435E-06
.7	1.641E-06	1.628E-06	1.628472E-06
.71	2.292E-06	2.294E-06	2.295359E-06
.72	3.188E-06	3.252E-06	3.253482E-06
.73	4.39E-06	4.634E-06	4.634846E-06
.74	6.014E-06	6.631E-06	6.632501E-06
.75	8.191E-06	9.528E-06	9.529055E-06
.76	1.099E-05	1.374E-05	1.373858E-05

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB[%(I)]	IB[%(II)]
.57	2.055E-08	75.96106	76.18758
.58	2.868E-08	61.85494	62.07064
.59	4.023E-08	49.01815	49.2226
.6	5.601E-08	39.11802	39.33309
.61	7.862E-08	29.73799	29.9434
.62	1.099E-07	22.29299	22.59273
.63	1.545E-07	15.59871	15.89113
.64	2.168E-07	10.23985	10.62758
.65	3.045E-07	5.84565	6.350744
.66	4.255E-07	2.86722	3.579319
.67	5.983E-07	6.685729E-02	1.033281
.68	8.38E-07	1.694511	.3233902
.69	1.173E-06	2.698549	.9006846
.7	1.641E-06	3.595372	.7634407
.71	2.292E-06	4.013969	.1465528
.72	3.188E-06	3.98369	2.054016
.73	4.39E-06	3.2574	5.577358
.74	6.014E-06	2.527439	10.28435
.75	8.191E-06	2.051032	16.33567
.76	1.099E-05	1.182898	25.00982

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB[%(I)]	IB[%(II)]
.57	2.055E-08	76.00973	76.18758
.58	2.868E-08	61.92469	62.07064
.59	4.023E-08	49.06786	49.2226
.6	5.601E-08	39.18944	39.33309
.61	7.862E-08	29.86518	29.9434
.62	1.099E-07	22.47498	22.59273
.63	1.545E-07	15.79289	15.89113
.64	2.168E-07	10.51661	10.62758
.65	3.045E-07	5.94417	6.350744
.66	4.255E-07	4.347827	3.579319
.67	5.983E-07	.9526949	1.033281
.68	8.38E-07	.3937933	.3233902
.69	1.173E-06	.9377662	.9006846
.7	1.641E-06	.7922053	.7634407
.71	2.292E-06	8.725911E-02	.1465528
.72	3.188E-06	2.007528	2.054016
.73	4.39E-06	5.55809	5.577358
.74	6.014E-06	10.25939	10.28435
.75	8.191E-06	16.32279	16.33567
.76	1.099E-05	25.02275	25.00982

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	BF(OLC)	BF(I)	BF(II)
.57	79.6107	45.29867	45.25496
.58	84.17015	51.93882	51.89513
.59	89.08776	59.18266	59.15671
.6	94.00107	67.01745	66.98893
.61	99.2114	75.32353	75.33406
.62	104.3676	84.07738	84.09531
.63	110.0971	93.05711	93.15601
.64	115.7288	102.2176	102.3816
.65	121.5435	111.3559	111.6276
.66	127.3326	120.3564	120.748
.67	133.3779	128.9795	129.6054
.68	138.9022	137.1692	138.0777
.69	145.2685	144.6883	146.0648
.7	150.8836	151.4539	153.4925
.71	156.2391	157.4091	160.3131
.72	160.9787	162.3326	166.5038
.73	164.9886	166.2114	172.0639
.74	168.1077	168.9355	177.0109
.75	169.9426	170.5098	181.376

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	BF(OLC)	BF(I)	BF(II)
.57	79.6107	45.3138	45.25496
.58	84.17015	51.93799	51.89513
.59	89.08776	59.21294	59.15671
.6	94.00107	67.0472	66.98893
.61	99.2114	75.35748	75.33406
.62	104.3676	742942.1	84.09531
.63	110.0971	93.18055	93.15601
.64	115.7288	102.4207	102.3816
.65	121.5435	111.9963	111.6276
.66	127.3326	119.7748	120.748
.67	133.3779	129.6027	129.6054
.68	138.9022	1.380137E+10	138.0777
.69	145.2685	145.9553	146.0648
.7	150.8836	153.3784	153.4925
.71	156.2391	160.2005	160.3131
.72	160.9787	166.3592	166.5038
.73	164.9886	171.8602	172.0639
.74	168.1077	176.7456	177.0109
.75	169.9426	181.1503	181.376
.76	170.7916	184.8617	185.1995

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	EF(OLC)	EF[% (I)]	EF[% (II)]
.57	79.6107	43.09977	43.15468
.58	84.17015	38.29307	38.34497
.59	89.08776	33.56814	33.59727
.6	94.00107	28.70566	28.736
.61	99.2114	24.07775	24.06714
.62	104.3676	19.44111	19.42393
.63	110.0971	15.47723	15.3874
.64	115.7288	11.6749	11.53318
.65	121.5435	8.381873	8.15834
.66	127.3326	5.47872	5.171171
.67	133.3779	3.297737	2.826412
.68	138.9022	1.247631	.5936113
.69	145.2685	.3993775	.5481436
.7	150.8836	.3779413	1.729103
.71	156.2391	.7488413	2.607506
.72	160.9787	.8410317	3.432175
.73	164.9886	.741166	4.288349
.74	168.1077	.4924342	5.296137
.75	169.9426	.3337506	6.727807
.76	170.7916	1.096221E-02	8.435953

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : npn1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : npn1-gem.dat

VBE=VCE	EF(OLC)	EF[% (I)]	EF[% (II)]
.57	79.6107	43.08078	43.15468
.58	84.17015	38.29406	38.34497
.59	89.08776	33.53415	33.59727
.6	94.00107	28.674	28.736
.61	99.2114	24.04353	24.06714
.62	104.3676	711751.3	19.42393
.63	110.0971	15.36512	15.3874
.64	115.7288	11.49938	11.53318
.65	121.5435	7.854981	8.15834
.66	127.3326	5.935503	5.171171
.67	133.3779	2.830494	2.826412
.68	138.9022	9.936031E+09	.5936113
.69	145.2685	.472747	.5481436
.7	150.8836	1.653448	1.729103
.71	156.2391	2.53548	2.607506
.72	160.9787	3.342345	3.432175
.73	164.9886	4.164874	4.288349
.74	168.1077	5.13831	5.296137
.75	169.9426	6.594994	6.727807
.76	170.7916	8.238178	8.435953

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
 KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-spi.dat
 KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC(I)	IC(II)
.46	2.556E-08	2.555E-08	2.550956E-08
.47	3.779E-08	3.761E-08	3.755611E-08
.48	5.598E-08	5.535E-08	5.529141E-08
.49	8.189E-08	8.145E-08	8.140181E-08
.5	1.217E-07	1.198E-07	1.198422E-07
.51	1.793E-07	1.763E-07	1.764352E-07
.52	2.66E-07	2.593E-07	2.597523E-07
.53	3.872E-07	3.812E-07	3.824137E-07
.54	5.712E-07	5.6E-07	5.629983E-07
.55	8.394E-07	8.221E-07	8.288581E-07
.56	1.226E-06	1.205E-06	1.220261E-06
.57	1.793E-06	1.764E-06	1.796488E-06
.58	2.626E-06	2.574E-06	2.644818E-06
.59	3.686E-06	3.744E-06	3.893742E-06
.6	5.505E-06	5.417E-06	5.732417E-06
.61	7.86E-06	7.785E-06	8.439331E-06
.62	1.113E-05	1.109E-05	1.242447E-05
.63	1.562E-05	1.564E-05	1.829136E-05
.64	2.171E-05	2.177E-05	2.692868E-05

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
 KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-ikf.dat
 KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC(I)	IC(II)
.46	2.556E-08	2.556E-08	2.550956E-08
.47	3.779E-08	3.762E-08	3.755611E-08
.48	5.598E-08	5.538E-08	5.529141E-08
.49	8.189E-08	8.152E-08	8.140181E-08
.5	1.217E-07	1.2E-07	1.198422E-07
.51	1.793E-07	1.766E-07	1.764352E-07
.52	2.66E-07	2.6E-07	2.597523E-07
.53	3.872E-07	3.827E-07	3.824137E-07
.54	5.712E-07	5.634E-07	5.629983E-07
.55	8.394E-07	8.293E-07	8.288581E-07
.56	1.226E-06	1.221E-06	1.220261E-06
.57	1.793E-06	1.797E-06	1.796488E-06
.58	2.626E-06	2.645E-06	2.644818E-06
.59	3.686E-06	3.894E-06	3.893742E-06
.6	5.505E-06	5.732E-06	5.732417E-06
.61	7.86E-06	8.438E-06	8.439331E-06
.62	1.113E-05	1.242E-05	1.242447E-05
.63	1.562E-05	1.828E-05	1.829136E-05
.64	2.171E-05	2.691E-05	2.692868E-05

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC[%(I)]	IC[%(II)]
.46	2.556E-08	3.912711E-02	.1973382
.47	3.779E-08	.4763119	.6189187
.48	5.598E-08	1.1254	1.230065
.49	8.189E-08	.5373106	.5961566
.5	1.217E-07	1.561209	1.52654
.51	1.793E-07	1.673172	1.597774
.52	2.66E-07	2.518794	2.348755
.53	3.872E-07	1.549585	1.236132
.54	5.712E-07	1.96079	1.435874
.55	8.394E-07	2.060997	1.255885
.56	1.226E-06	1.712888	.4681098
.57	1.793E-06	1.617403	.1945358
.58	2.626E-06	1.980195	.7166081
.59	3.686E-06	1.573523	5.635974
.6	5.505E-06	1.598547	4.131097
.61	7.86E-06	.9541942	7.370634
.62	1.113E-05	.3593853	11.63046
.63	1.562E-05	.1280396	17.10218
.64	2.171E-05	.2763674	24.03813

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	IC(OLC)	IC[%(I)]	IC[%(II)]
.46	2.556E-08	0	.1973382
.47	3.779E-08	.4498475	.6189187
.48	5.598E-08	1.071812	1.230065
.49	8.189E-08	.4518267	.5961566
.5	1.217E-07	1.396879	1.52654
.51	1.793E-07	1.505859	1.597774
.52	2.66E-07	2.255637	2.348755
.53	3.872E-07	1.162193	1.236132
.54	5.712E-07	1.365546	1.435874
.55	8.394E-07	1.20324	1.255885
.56	1.226E-06	.407826	.4681098
.57	1.793E-06	.2230874	.1945358
.58	2.626E-06	.723535	.7166081
.59	3.686E-06	5.642982	5.635974
.6	5.505E-06	4.123522	4.131097
.61	7.86E-06	7.353693	7.370634
.62	1.113E-05	11.5903	11.63046
.63	1.562E-05	17.02944	17.10218
.64	2.171E-05	23.95209	24.03813

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnpi-olc.dat
 KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-spi.dat
 KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB(I)	IB(II)
.46	1.592E-09	1.593E-09	1.593957E-09
.47	2.156E-09	2.157E-09	2.157766E-09
.48	2.939E-09	2.927E-09	2.928959E-09
.49	3.985E-09	3.985E-09	3.987126E-09
.5	5.499E-09	5.44E-09	5.443724E-09
.51	7.565E-09	7.45E-09	7.455325E-09
.52	1.051E-08	1.024E-08	1.02426E-08
.53	1.449E-08	1.411E-08	1.411755E-08
.54	2.02E-08	1.95E-08	1.952249E-08
.55	2.818E-08	2.706E-08	2.708642E-08
.56	3.934E-08	3.766E-08	3.770622E-08
.57	5.496E-08	5.258E-08	5.266388E-08
.58	7.736E-08	7.364E-08	7.379661E-08
.59	1.051E-07	1.035E-07	1.037433E-07
.6	1.52E-07	1.457E-07	1.463021E-07
.61	2.12E-07	2.059E-07	2.069514E-07
.62	2.954E-07	2.915E-07	2.936072E-07
.63	4.113E-07	4.135E-07	4.177262E-07
.64	5.72E-07	5.875E-07	5.959212E-07

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnpi-olc.dat
 KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-ikf.dat
 KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB(I)	IB(II)
.46	1.592E-09	1.593E-09	1.593957E-09
.47	2.156E-09	2.157E-09	2.157766E-09
.48	2.939E-09	2.928E-09	2.928959E-09
.49	3.985E-09	3.985E-09	3.987126E-09
.5	5.499E-09	5.441E-09	5.443724E-09
.51	7.565E-09	7.451E-09	7.455325E-09
.52	1.051E-08	1.024E-08	1.02426E-08
.53	1.449E-08	1.411E-08	1.411755E-08
.54	2.02E-08	1.951E-08	1.952249E-08
.55	2.818E-08	2.707E-08	2.708642E-08
.56	3.934E-08	3.769E-08	3.770622E-08
.57	5.496E-08	5.264E-08	5.266388E-08
.58	7.736E-08	7.376E-08	7.379661E-08
.59	1.051E-07	1.037E-07	1.037433E-07
.6	1.52E-07	1.462E-07	1.463021E-07
.61	2.12E-07	2.069E-07	2.069514E-07
.62	2.954E-07	2.935E-07	2.936072E-07
.63	4.113E-07	4.176E-07	4.177262E-07
.64	5.72E-07	5.958E-07	5.959212E-07

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB[% (I)]	IB[% (II)]
.46	1.592E-09	6.281269E-02	.1229265
.47	2.156E-09	4.637601E-02	8.190728E-02
.48	2.939E-09	.4083007	.341642
.49	3.985E-09	0	5.335757E-02
.5	5.499E-09	1.072921	1.005197
.51	7.565E-09	1.520159	1.44978
.52	1.051E-08	2.568982	2.544247
.53	1.449E-08	2.622498	2.570397
.54	2.02E-08	3.465347	3.354008
.55	2.818E-08	3.97445	3.880697
.56	3.934E-08	4.270463	4.152981
.57	5.496E-08	4.330426	4.177806
.58	7.736E-08	4.808683	4.606239
.59	1.051E-07	1.52236	1.290869
.6	1.52E-07	4.144736	3.748618
.61	2.12E-07	2.877363	2.381418
.62	2.954E-07	1.320253	.6069103
.63	4.113E-07	.534892	1.562413
.64	5.72E-07	2.709792	4.182037

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	IB(OLC)	IB[% (I)]	IB[% (II)]
.46	1.592E-09	6.281269E-02	.1229265
.47	2.156E-09	4.637601E-02	8.190728E-02
.48	2.939E-09	.3742725	.341642
.49	3.985E-09	0	5.335757E-02
.5	5.499E-09	1.054734	1.005197
.51	7.565E-09	1.506945	1.44978
.52	1.051E-08	2.568982	2.544247
.53	1.449E-08	2.622498	2.570397
.54	2.02E-08	3.415838	3.354008
.55	2.818E-08	3.938967	3.880697
.56	3.934E-08	4.194207	4.152981
.57	5.496E-08	4.221252	4.177806
.58	7.736E-08	4.653569	4.606239
.59	1.051E-07	1.332061	1.290869
.6	1.52E-07	3.815792	3.748618
.61	2.12E-07	2.405663	2.381418
.62	2.954E-07	.6432023	.6069103
.63	4.113E-07	1.531732	1.562413
.64	5.72E-07	4.160839	4.182037

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnpi-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-epi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-gem.dat

VBE=VCE	BF(OLC)	BF(I)	BF(II)
.46	16.05528	16.03892	16.00392
.47	17.52783	17.43626	17.40509
.48	19.0473	18.91015	18.8775
.49	20.54956	20.43915	20.41616
.5	22.1313	22.02206	22.01475
.51	23.70126	23.66443	23.66566
.52	25.30923	25.32227	25.36
.53	26.72188	27.0163	27.08783
.54	28.27723	28.71795	28.83845
.55	29.78708	30.38064	30.60051
.56	31.16421	31.99681	32.36233
.57	32.62373	33.84888	34.11234
.58	33.94519	34.95383	35.83929
.59	35.07136	36.17391	37.53247
.6	36.21711	37.17914	39.18206
.61	37.07547	37.80962	40.77929
.62	37.67772	38.0446	42.31664
.63	37.97715	37.82346	43.78792
.64	37.95455	37.05532	45.18832

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnpi-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnpi-gem.dat

VBE=VCE	BF(OLC)	BF(I)	BF(II)
.46	16.05528	16.0452	16.00392
.47	17.52783	17.44089	17.40509
.48	19.0473	18.91393	18.8775
.49	20.54956	20.45671	20.41616
.5	22.1313	22.05477	22.01475
.51	23.70126	23.70152	23.66566
.52	25.30923	25.39063	25.36
.53	26.72188	27.12261	27.08783
.54	28.27723	28.8775	28.83845
.55	29.78708	30.63539	30.60051
.56	31.16421	32.39586	32.36233
.57	32.62373	34.13754	34.11234
.58	33.94519	35.85955	35.83929
.59	35.07136	37.55063	37.53247
.6	36.21711	39.20657	39.18206
.61	37.07547	40.78259	40.77929
.62	37.67772	42.31687	42.31664
.63	37.97715	43.77395	43.78792
.64	37.95455	45.16617	45.18832

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-spi.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	BF(OLC)	BF[% (I)]	BF[% (II)]
.46	16.05528	.1019056	.3198896
.47	17.52783	.5224585	.7002675
.48	19.0473	.7200686	.8914939
.49	20.54956	.5373083	.6491621
.5	22.1313	.4935977	.526649
.51	23.70126	.1553883	.1501897
.52	25.30923	5.150978E-02	.2005905
.53	26.72188	1.101795	1.369454
.54	28.27723	1.558567	1.9847
.55	29.78708	1.992654	2.730792
.56	31.16421	2.671666	3.844533
.57	32.62373	2.835813	4.562965
.58	33.94519	2.971379	5.579867
.59	35.07136	3.143735	7.017422
.6	36.21711	2.656271	8.186591
.61	37.07547	1.98014	9.989956
.62	37.67772	.973728	12.3121
.63	37.97715	.4046916	15.3007
.64	37.95455	2.369231	19.05903

KARSILASTIRILACAK OLCU DOSYASININ ISMI : pnp1-olc.dat
KARSILASTIRILACAK I. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-ikf.dat
KARSILASTIRILACAK II. DATA DOSYASININ ISMI : pnp1-gem.dat

VBE=VCE	BF(OLC)	BF[% (I)]	BF[% (II)]
.46	16.05528	6.279706E-02	.3198896
.47	17.52783	.4960047	.7002675
.48	19.0473	.7001913	.8914939
.49	20.54956	.4518239	.6491621
.5	22.1313	.3458105	.526649
.51	23.70126	1.086407E-03	.1501897
.52	25.30923	.3215988	.2005905
.53	26.72188	1.499619	1.369454
.54	28.27723	2.122801	1.9847
.55	29.78708	2.847914	2.730792
.56	31.16421	3.95214	3.844533
.57	32.62373	4.640209	4.562965
.58	33.94519	5.639551	5.579867
.59	35.07136	7.069207	7.017422
.6	36.21711	8.254265	8.186591
.61	37.07547	9.999916	9.989956
.62	37.67772	12.3127	12.3121
.63	37.97715	15.2639	15.3007
.64	37.95455	19.00065	19.05903

```
*** VCB=0 IKEN B101-NPN TRANZISTORU'NUN IB-IC DEGERI ***
*****
VCE 1 0 .57
VB 1 2 0
VC 1 3 0
QN 3 2 0 E2-T2
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1
+ISE=2.02E-13 NE=1.86
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.DC VCE .57 .77 .01
.PRINT DC I(VC) I(VB)
.END
*****
```

VCE=VBE	I(VC)	I(VB)
5.700E-01	1.639E-06	3.617E-08
5.800E-01	2.412E-06	4.644E-08
5.900E-01	3.551E-06	5.997E-08
6.000E-01	5.227E-06	7.796E-08
6.100E-01	7.694E-06	1.021E-07
6.200E-01	1.133E-05	1.346E-07
6.300E-01	1.667E-05	1.789E-07
6.400E-01	2.454E-05	2.396E-07
6.500E-01	3.613E-05	3.236E-07
6.600E-01	5.318E-05	4.404E-07
6.700E-01	7.828E-05	6.040E-07
6.800E-01	1.152E-04	8.347E-07
6.900E-01	1.696E-04	1.162E-06
7.000E-01	2.497E-04	1.628E-06
7.100E-01	3.675E-04	2.294E-06
7.200E-01	5.410E-04	3.252E-06
7.300E-01	7.964E-04	4.634E-06
7.400E-01	1.172E-03	6.631E-06
7.500E-01	1.726E-03	9.528E-06
7.600E-01	2.540E-03	1.374E-05
7.700E-01	3.739E-03	1.987E-05

```
*** VCB=0 IKEN B101-NPN TRANZISTORU'NUN IB-IC DEGERI ***
*****
VCE 1 0 .57
VB 1 2 0
VC 1 3 0
QN 3 2 0 E2-T2
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3
+RB=75 RC=30 RE=3
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.DC VCE .57 .77 .01
.PRINT DC I(VC) I(VB)
.END
*****
```

VCE=VBE	I(VC)	I(VB)
5.700E-01	1.638E-06	3.616E-08
5.800E-01	2.411E-06	4.642E-08
5.900E-01	3.548E-06	5.995E-08
6.000E-01	5.222E-06	7.792E-08
6.100E-01	7.683E-06	1.020E-07
6.200E-01	1.130E-05	1.344E-07
6.300E-01	1.662E-05	1.786E-07
6.400E-01	2.443E-05	2.390E-07
6.500E-01	3.589E-05	3.223E-07
6.600E-01	5.268E-05	4.377E-07
6.700E-01	7.722E-05	5.987E-07
6.800E-01	1.130E-04	8.238E-07
6.900E-01	1.648E-04	1.139E-06
7.000E-01	2.396E-04	1.582E-06
7.100E-01	3.463E-04	2.200E-06
7.200E-01	4.969E-04	3.061E-06
7.300E-01	7.059E-04	4.247E-06
7.400E-01	9.903E-04	5.862E-06
7.500E-01	1.368E-03	8.023E-06
7.600E-01	1.855E-03	1.086E-05
7.700E-01	2.464E-03	1.451E-05

```
*** B101-NPN TRANZISTORU'NUN VCE-IC DEGERI ***
*****
VCE 1 0 1
IB 1 2 0
VC 1 3 0
QN 3 2 0 E2-T2
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 VA=85
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.DC VCE 1 3 1 IB 2U 18U 2U
.PRINT DC V(2,0) I(VC)
.END
*****
```

VCE	V(2,0)=VBE	I(VC)
1.000E+00	7.060E-01	3.162E-04
2.000E+00	7.060E-01	3.199E-04
3.000E+00	7.060E-01	3.236E-04
1.000E+00	7.259E-01	6.809E-04
2.000E+00	7.259E-01	6.889E-04
3.000E+00	7.259E-01	6.968E-04
1.000E+00	7.372E-01	1.056E-03
2.000E+00	7.372E-01	1.069E-03
3.000E+00	7.372E-01	1.081E-03
1.000E+00	7.452E-01	1.437E-03
2.000E+00	7.452E-01	1.454E-03
3.000E+00	7.452E-01	1.471E-03
1.000E+00	7.513E-01	1.822E-03
2.000E+00	7.513E-01	1.843E-03
3.000E+00	7.513E-01	1.865E-03
1.000E+00	7.563E-01	2.209E-03
2.000E+00	7.563E-01	2.235E-03
3.000E+00	7.563E-01	2.261E-03
1.000E+00	7.605E-01	2.598E-03
2.000E+00	7.605E-01	2.629E-03
3.000E+00	7.605E-01	2.659E-03
1.000E+00	7.641E-01	2.989E-03
2.000E+00	7.641E-01	3.024E-03
3.000E+00	7.641E-01	3.060E-03
1.000E+00	7.673E-01	3.382E-03
2.000E+00	7.673E-01	3.421E-03
3.000E+00	7.673E-01	3.461E-03

```
*** B101-NPN TRANZISTORU'NUN VCE-IC DEGERI ***
*****
VCE 1 0 1
IB 1 2 0
VC 1 3 0
QN 3 2 0 E2-T2
.MODEL E2-T2 NPN IS=4.4E-16 BF=207 NF=1
+ISE=2.02E-13 NE=1.86 IKF= 26.88E-3 VA=85
+RB=75 RC=30 RE=3
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.DC VCE 1 3 1 IB 2U 18U 2U
.PRINT DC V(2,0) I(VC)
.END
*****
```

VCE	V(2,0)=VBE	I(VC)
1.000E+00	7.071E-01	3.126E-04
2.000E+00	7.071E-01	3.162E-04
3.000E+00	7.071E-01	3.199E-04
1.000E+00	7.282E-01	6.643E-04
2.000E+00	7.282E-01	6.721E-04
3.000E+00	7.282E-01	6.799E-04
1.000E+00	7.407E-01	1.017E-03
2.000E+00	7.408E-01	1.029E-03
3.000E+00	7.408E-01	1.041E-03
1.000E+00	7.499E-01	1.367E-03
2.000E+00	7.500E-01	1.383E-03
3.000E+00	7.500E-01	1.399E-03
1.000E+00	7.572E-01	1.712E-03
2.000E+00	7.573E-01	1.732E-03
3.000E+00	7.574E-01	1.752E-03
1.000E+00	7.634E-01	2.051E-03
2.000E+00	7.635E-01	2.075E-03
3.000E+00	7.635E-01	2.099E-03
1.000E+00	7.688E-01	2.385E-03
2.000E+00	7.688E-01	2.413E-03
3.000E+00	7.689E-01	2.441E-03
1.000E+00	7.735E-01	2.713E-03
2.000E+00	7.736E-01	2.745E-03
3.000E+00	7.737E-01	2.777E-03
1.000E+00	7.778E-01	3.035E-03
2.000E+00	7.779E-01	3.071E-03
3.000E+00	7.781E-01	3.107E-03

*** VCB=0 IKEN B102-PNP TRANZISTORU'NUN IB-IC DEGERI ***

VEC 1 0 .46

VB 2 0 0

VC 3 0 0

QP 3 2 1 P1-T1

.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1

+ISE=4.5E-15 NE=1.426

.OPTION NOMOD NOPAGE

.DC VEC .46 .64 .01

.PRINT DC I(VC) I(VB)

.END

VEC=VEB	I(VC)	I(VB)
4.600E-01	2.556E-08	1.593E-09
4.700E-01	3.762E-08	2.157E-09
4.800E-01	5.538E-08	2.928E-09
4.900E-01	8.152E-08	3.985E-09
5.000E-01	1.200E-07	5.441E-09
5.100E-01	1.766E-07	7.451E-09
5.200E-01	2.600E-07	1.024E-08
5.300E-01	3.827E-07	1.411E-08
5.400E-01	5.634E-07	1.951E-08
5.500E-01	8.293E-07	2.707E-08
5.600E-01	1.221E-06	3.769E-08
5.700E-01	1.797E-06	5.264E-08
5.800E-01	2.645E-06	7.376E-08
5.900E-01	3.894E-06	1.037E-07
6.000E-01	5.732E-06	1.462E-07
6.100E-01	8.438E-06	2.069E-07
6.200E-01	1.242E-05	2.935E-07
6.300E-01	1.828E-05	4.176E-07
6.400E-01	2.691E-05	5.958E-07

*** VCB=0 IKEN B102-FNP TRANZISTORU'NUN IB-IC DEGERI ***

VEC 1 0 .46

VB 2 0 0

VC 3 0 0

QP 3 2 1 P1-T1

.MODEL P1-T1 FNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1

+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100e-6

+RB=50 RC=225 RE=16.4

.OPTION NOMOD NOPAGE

.DC VEC .46 .64 .01

.PRINT DC I(VC) I(VB)

.END

VEC=VEB	I(VC)	I(VB)
4.600E-01	2.555E-08	1.593E-09
4.700E-01	3.761E-08	2.157E-09
4.800E-01	5.535E-08	2.927E-09
4.900E-01	8.145E-08	3.985E-09
5.000E-01	1.198E-07	5.440E-09
5.100E-01	1.763E-07	7.450E-09
5.200E-01	2.593E-07	1.024E-08
5.300E-01	3.812E-07	1.411E-08
5.400E-01	5.600E-07	1.950E-08
5.500E-01	8.221E-07	2.706E-08
5.600E-01	1.205E-06	3.766E-08
5.700E-01	1.764E-06	5.258E-08
5.800E-01	2.574E-06	7.364E-08
5.900E-01	3.744E-06	1.035E-07
6.000E-01	5.417E-06	1.457E-07
6.100E-01	7.785E-06	2.059E-07
6.200E-01	1.109E-05	2.915E-07
6.300E-01	1.564E-05	4.135E-07
6.400E-01	2.177E-05	5.875E-07

```
*** B102-FNP TRANZISTORU'NUN VEC-IC DEGERLERI ***
*****
VEC 1 0 1
IB 2 0 50E-9
VC 3 0 0
QP 3 2 1 P1-T1
.MODEL P1-T1 FNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.DC VEC 1 3 1 IB 50E-9 450E-9 50E-9
.PRINT DC V(1,2) I(VC)
.END
*****
```

VEC	V(1,2)=VEB	I(VC)
1.000E+00	5.685E-01	1.730E-06
2.000E+00	5.685E-01	1.815E-06
3.000E+00	5.685E-01	1.900E-06
1.000E+00	5.889E-01	3.814E-06
2.000E+00	5.889E-01	4.001E-06
3.000E+00	5.889E-01	4.188E-06
1.000E+00	6.007E-01	6.015E-06
2.000E+00	6.007E-01	6.310E-06
3.000E+00	6.007E-01	6.605E-06
1.000E+00	6.090E-01	8.286E-06
2.000E+00	6.090E-01	8.692E-06
3.000E+00	6.090E-01	9.099E-06
1.000E+00	6.154E-01	1.061E-05
2.000E+00	6.154E-01	1.113E-05
3.000E+00	6.154E-01	1.165E-05
1.000E+00	6.206E-01	1.296E-05
2.000E+00	6.206E-01	1.360E-05
3.000E+00	6.206E-01	1.424E-05
1.000E+00	6.250E-01	1.535E-05
2.000E+00	6.250E-01	1.611E-05
3.000E+00	6.250E-01	1.686E-05
1.000E+00	6.288E-01	1.777E-05
2.000E+00	6.288E-01	1.864E-05
3.000E+00	6.288E-01	1.951E-05
1.000E+00	6.321E-01	2.020E-05
2.000E+00	6.321E-01	2.119E-05
3.000E+00	6.321E-01	2.218E-05

```
*** B102-PNP TRANZISTORU'NUN VEC-IC DEGERLERI ***
*****
VEC 1 0 1
IB 2 0 50E-9
VC 3 0 0
QP 3 2 1 P1-T1
.MODEL P1-T1 PNP IS=4.825E-16 BF=61 NF=1 VA=20
+ISE=4.5E-15 NE=1.426 IKF=100e-6
+RB=50 RC=225 RE=16.4
.OPTIONS NOMOD NOPAGE
.DC VEC 1 3 1 IB 50E-9 450E-9 50E-9
.PRINT DC V(1,2) I(VC)
.END
*****
```

VEC	V(1,2)=VEB	I(VC)
1.000E+00	5.685E-01	1.702E-06
2.000E+00	5.685E-01	1.785E-06
3.000E+00	5.685E-01	1.869E-06
1.000E+00	5.890E-01	3.681E-06
2.000E+00	5.890E-01	3.862E-06
3.000E+00	5.890E-01	4.042E-06
1.000E+00	6.008E-01	5.696E-06
2.000E+00	6.008E-01	5.976E-06
3.000E+00	6.008E-01	6.255E-06
1.000E+00	6.092E-01	7.703E-06
2.000E+00	6.092E-01	8.081E-06
3.000E+00	6.092E-01	8.459E-06
1.000E+00	6.156E-01	9.684E-06
2.000E+00	6.156E-01	1.016E-05
3.000E+00	6.156E-01	1.063E-05
1.000E+00	6.208E-01	1.163E-05
2.000E+00	6.208E-01	1.220E-05
3.000E+00	6.209E-01	1.278E-05
1.000E+00	6.252E-01	1.355E-05
2.000E+00	6.253E-01	1.421E-05
3.000E+00	6.253E-01	1.488E-05
1.000E+00	6.291E-01	1.543E-05
2.000E+00	6.291E-01	1.618E-05
3.000E+00	6.291E-01	1.694E-05
1.000E+00	6.324E-01	1.727E-05
2.000E+00	6.324E-01	1.812E-05
3.000E+00	6.324E-01	1.896E-05

OZGEÇMİŞ

Mesut BİROL 1965 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Balıkesir Dumlupınar İlkokulu'nda, orta öğrenimini İstanbul Kadıköy Ortaokulu'nda, lise öğrenimini İstanbul 50. Yıl Tahran Lisesi'nde yaptı. 1982 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi'nin Elektronik-Haberleşme Bölümü'nden 1986 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Büyük Şehir Belediyesi'nde Elektronik Muhendisi olarak çalıştı. 1988 yılında İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Aynı yıl İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen aynı yerde görevine devam etmektedir.