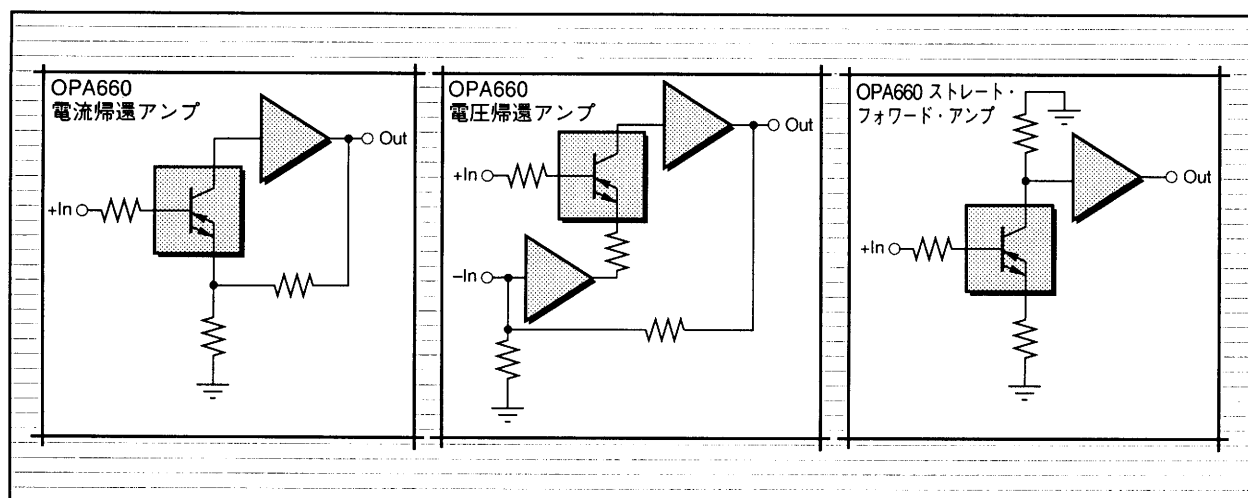


超高速IC



準理想電流源

真空管、電界効果トランジスタ、およびバイポーラ・トランジスタなど主要な能動電子部品は、相互コンダクタンスなどの有益な動作パラメータの他に、性能を制限する寄生パラメータを内在しています。ダイヤモンド構成と呼ばれる回路技術を用いると、ユーザは寄生パラメータの非常に少ない優れた電流源や、温度に依存しないプログラマブル相互コンダクタンスなどを実現することができます。ダイヤモンド電流源(Diamond current source(DCS))の標準的なアプリケーションは、バッファ、電圧または電流帰還オペアンプ、およびトランス・コンダクタンス・アンプなどがあります。DCSを使用すると数mAの低電流電流で400MHzのバンド幅と3000V/sのスルーレートを備えた電子回路の設計を容易に実現することができます。

電圧制御電流源

電流増幅または電圧増幅などのアナログ信号処理においては、以前の電子回路技術では主として真空管が使用されていましたが、今日では電界効果またはバイポーラ・トランジスタが使用されています。図1に示す3極管は各種真空管を代表しており、またNチャンネルFETは各種のFET(接合形、絶縁ゲート、デプレッション、エンハンスメント、Pチャンネル、およびNチャンネル)を表し、NPNトランジスタは各種のバイポーラ・トランジスタを表します。3極管、N-J FET、およびNPN

部品	パラメータ	標準値
3 極管	グリッド・バイアス電圧	0 to 10V
	アノード・バイアス電圧	20 to 1kV
	グリッド電流	nA to μ A
	アノード・バイアス電流	μ A to A
	G/K抵抗	k Ω to M Ω
	A/K抵抗	k Ω to M Ω
N-J FET	グリッド相互作用	1 to 20%
	ゲート電圧	0 to -10V
	D/S電圧	0 to 100V
	ゲート電流	fA to μ A
	Dバイアス電流	μ A to A
	G/S抵抗	M Ω to G Ω
NPNトランジスタ	D/S抵抗	k Ω to M Ω
	反転増幅	1 to 10%
	ベース電圧	0.5 to 0.8V
	K/E電圧	0.5 to 100V
	ベース電流	μ A to mA
	エミッタ・バイアス電流	μ A to A
DCS	B/E抵抗	k Ω
	K/E抵抗	k Ω
	反転増幅	0.1 to 1%
	V_{OFF1}	-2 to +2mV
	V_{OFF3}	0V
	I_{BIAS1}	nA to μ A
	I_{BIAS3}	μ A
	R_{12}	k Ω to M Ω
	R_{32}	k Ω
	V_{R11}	<0.1%

表1 電圧制御型電流源の代表的な寄生パラメータ

トランジスタをダイヤモンド電流源(DCS)と比較しています。これら能動部品すべてに共通した要素は、相対的に高いインピーダンスの入力電極1（グリッド、ゲート、ベース）、低いインピーダンスの入出力電極2（カソード、ソース、エミッタ）、そして高インピーダンスの出力電極3（アノード、ドレイン、コレクタ）です。

したがって、これらの要素のすべては特殊な電圧制御型電流源（VCC=Voltage Controlled Current Source）として取扱うことができます。”特殊”という意味は電極2が低いインピーダンスの入出力であるための制限を意味しています。電極1、2、および3の間の最

も重要な関係は相互コンダクタンス g_m です。相互コンダクタンスは入力信号(V_{IN})に関する出力信号(V_{OUT})の変化を表します。

$$V_{OUT} = V_{IN} \times g_m \times R_{OUT} \quad (1)$$

各VCCSを動作させるためには、DC無信号時電流または電圧を個別に調整する必要があります（図1参照）。

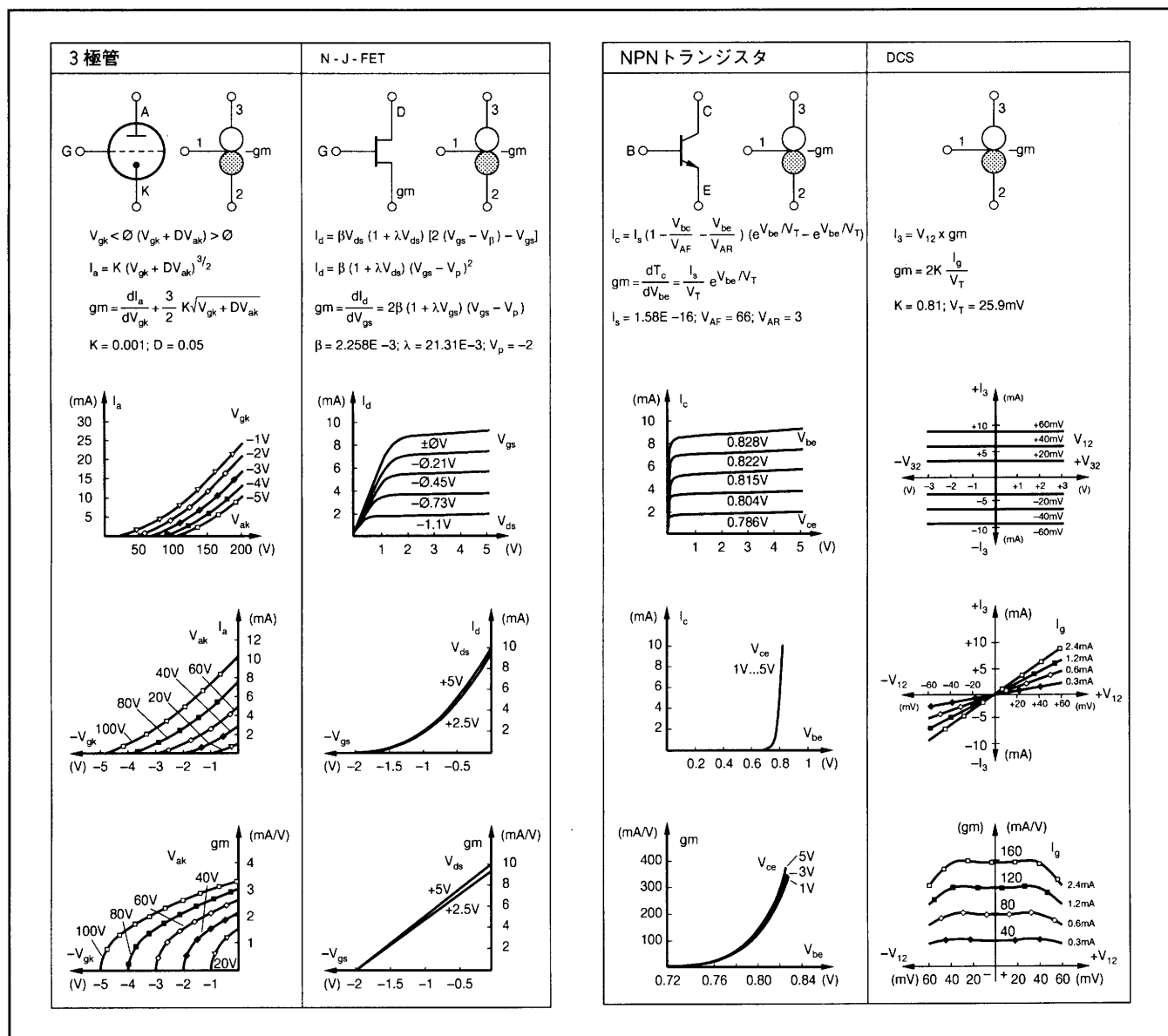


図1. 電圧制御型電流源(VCCS)およびダイヤモンド電流源(DCS)の比較

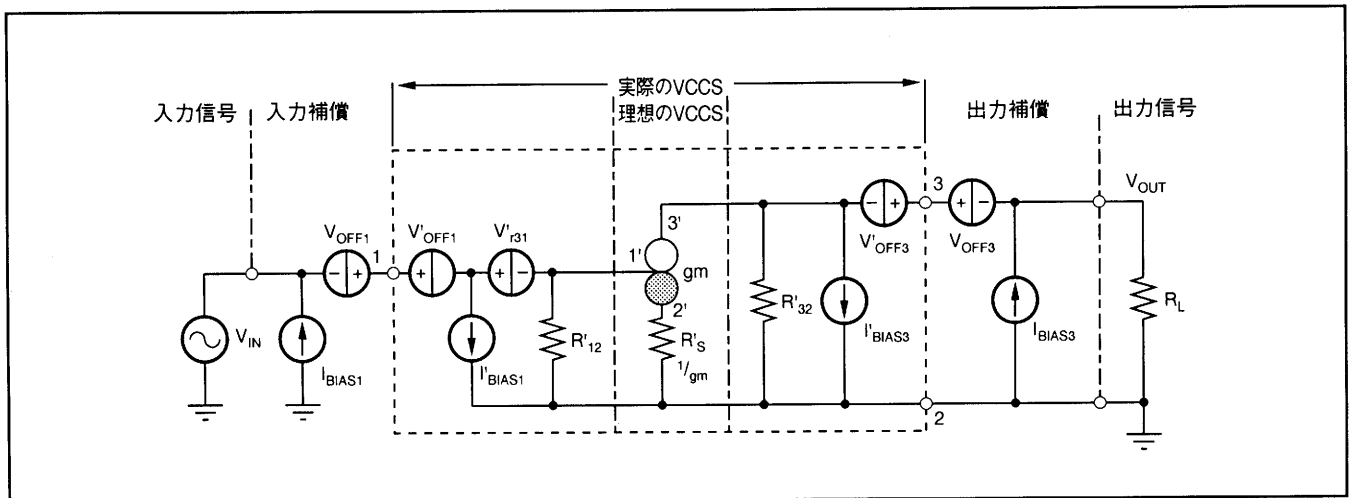


図2. 電圧制御型電流源の内部および外部代替回路

電圧制御型電流源VCCSの内部および外部等価回路を図2に示します。等価回路によるとVCCS(1,2,3)は相互コンダクタンス gm を持つ内部の理想VCCS(1',2',3')と、互いに関係し合いDCバイアス・ポイントを一連の内部寄生パラメータにより構成される。表Iに寄生パラメータの概略を示します。ほとんどすべての寄生パラメータはユニット毎に変化し、また温度依存性を示します。

図2には内部寄生パラメータを補償するための補正パラメータ(V_{OFF3} , I_{BIAS1} , I_{BIAS3})も示しています。しかし、補正パラメータは内部寄生パラメータ(R_{12} , R_{32})および出力電圧フィードスルー V_{r31} の効果を補償していません。おおざっぱに言えば、少なくとも電子回路技術に費やされる設計時間の50%はこれらの補償に費やされます。複雑な回路では、回路の動作に伴う機能パラメータ gm と各種寄生パラメータの間の結合をさらに補正する必要があります。寄生パラメータのないVCCSをユーザが利用できるようになれば、電子回路設計作業の多くが不要のものになります。

“理想的な”電流源

マクロ部品であるオペレーショナル・トランスコンダクタンス・アンプ(operational transconductance amplifier(OTA))およびオペアンプ(operational amplifier(OA))は、寄生パラメータを低減するための回路部品を内蔵しています。これらのアンプを、帰還が必要で遅延時間(位相遅延)を無視することのできない制御ループなどに応用すると、時間および周波数領域の性能がVCCSと比較して大幅に低下します。ストレート・フォワード・アンプは帰還アンプより帯域が広がります。図3に示すオペアンプOAは、OTAとバッファBを直列に接続して構成しています。OTAは電極2を高インピーダンス入力としてのみ使用可能な電圧制御電流源VCCSです。このような制約があるため、OTAは外部帰還ループを用いる場合のみ使用できます。従来の電圧帰還型オペアンプと図3を比較すると、電流帰還OAは低インピーダンス入出力の端子2を持つOTA、すなわち前述した“理想”VCCSを含んでいることが明らかになります。図4に示したダイヤモンド回路は準理想VCCSの実現を可能性にします(文献[2]参照)。NPNおよびPNPトランジスタの特性が等しい理想状態では、寄生パラメータ V_{OFF1} , V_{OFF3} , I_{BIAS1} および I_{BIAS3} は消滅します。しか

し、このようなことは現実の回路ではもちろん起きません。しかし、その他のパラメータの値は従来のVCCSと比較すると、はるかに小さくなっています(VCCSとDCSを比較した図1および表Iを参照して下さい)。相互コンダクタンスの変調について、 $I_3 = \pm 10\text{mA}$ で比較すると、従来のVCCSが0から350mA/Vまで変化するのに対して、DCSを使用した準理想VCCSは120から160mA/Vしか変化しません。これは改善されたVCCS(以下DCSと呼ぶ)により、信号歪が除去できることを意味しています。

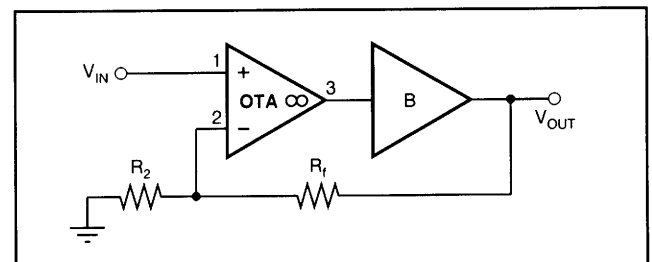


図3. OTAとバッファを直列接続したオペアンプ

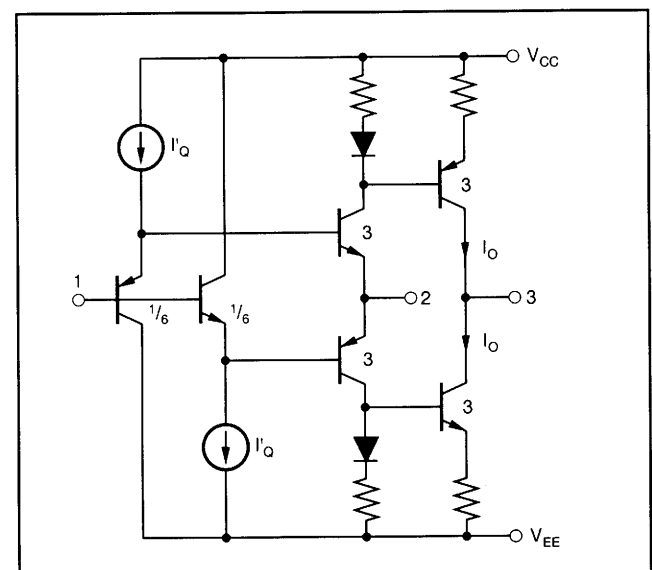


図4. ダイヤモンド回路構成によるVCCS

プログラマブル相互コンダクタンス

従来のVCCSは無信号時電流に応じて、相互コンダクタンスが変化します。DCSで相互コンダクタンスは主として電流源 I_Q によって調整されます(図4参照)。この調整を行う場合、一つの有効な方法として電流源を制御する方法があります(図5参照)。

抵抗 R_Q を用いて無信号時電流 I_Q または I_0 、すなわち相互コンダクタンス gm を固定することができます。 gm の温度依存性($V_T=f(T)$ による)は、 I_Q を対応して変化させることにより補償することができます。 $R_Q \rightarrow \infty$ では、 $I_Q \rightarrow 0$ および $gm \rightarrow 0$ になります。したがって、VCCSがオフに切り替わります。従来のVCCSと異なり、DCSは入力では2象限、また出力では4象限で動作可能です。VCCSの場合は実用上問題のない変調の範囲内でDC点を固定すると相互コンダクタンスが固定されますが、DCSの相互コンダクタンスは変調とはほとんど無関係であり、外部抵抗 R_Q により調整することができます。

$gm=dI_3/dV_{i2}$ はすべてのVCCSで負になります。それに対し、DCSの相互コンダクタンス $gm=dI_3/dV_{i2}$ は正になります。前述のようにDCSは、バッファ(B)、電流帰還型トランス・コンダクタンス・パッ

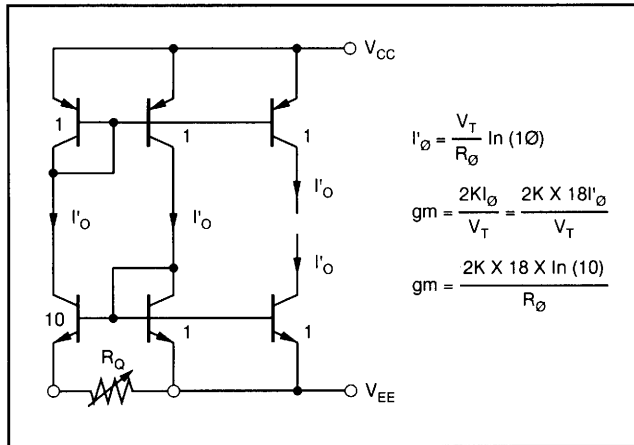


図5. バイアス電流の調整による電流源の制御

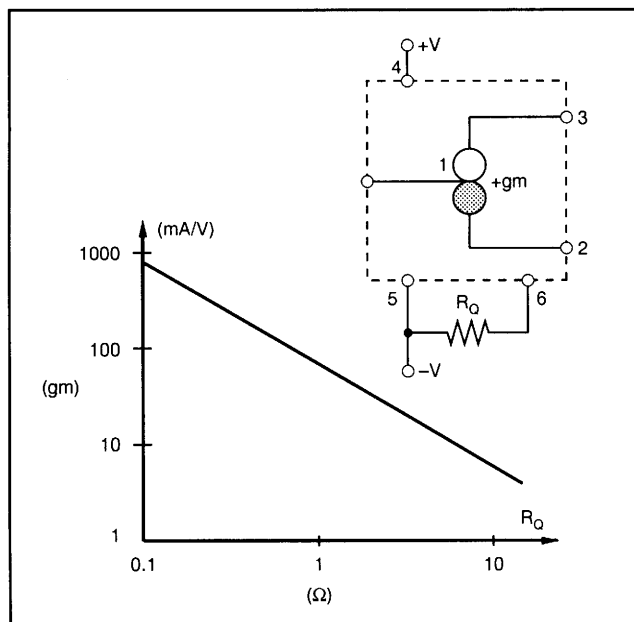


図6. $gm=f(R_Q)$ の関係とDCSのブロック図

ファ(TB)、トランス・コンダクタンス・アンプ(TA)、直接帰還型トランス・コンダクタンス・アンプ(TC)、電流帰還型OA(TCC)、および電流帰還型OA(TCV)などの標準的なアプリケーションで利用できます(図7参照)。

まとめ

8ピンのプラスチックDIPおよびSOPパッケージに実装されたDCSの標準的なダイナミック係数値を図8に示す回路についてシミュレーションした結果を表IIに示します。このDCSはOPA660としてパー・ブラウンから供給しています。

参考文献

- [1] Ross, D.G. et al; *IEEE Journal of solid-state circuits* 86, vol.2, p.331
- [2] Lehmann, K; *Elektronik Industrie* 89, vol.5, p.99. Strom-oder Spannungs-Gegenkopplung? (Current or Voltage Feedback? That's the question here.)

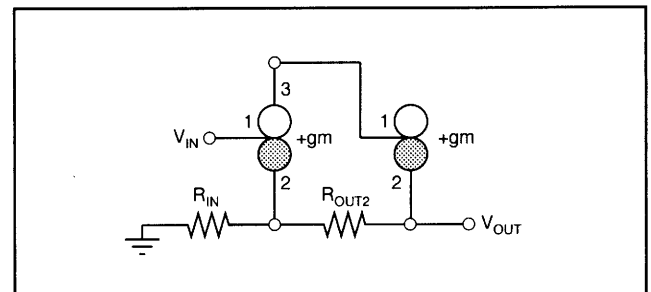


図8. DCSによるTCCのダイナミック特性のための記録回路

I_0 (mA)	0.1Vp-p f_{-3dB} (MHz)	6Vp-p f_{-3dB} (MHz)	4Vp-p SR (V/μs)	1.4Vp-p DG (%)	5MHz DP (Degrees)
2.4	400	330	2850	-0.07	-0.05
1.2	240	200	1750	-0.06	-0.06
0.6	140	100	800	-0.05	-0.10
0.3	80	55	420	-0.03	-0.19

表 図8の回路に対応するDCSによるTCCのダイナミック標準値

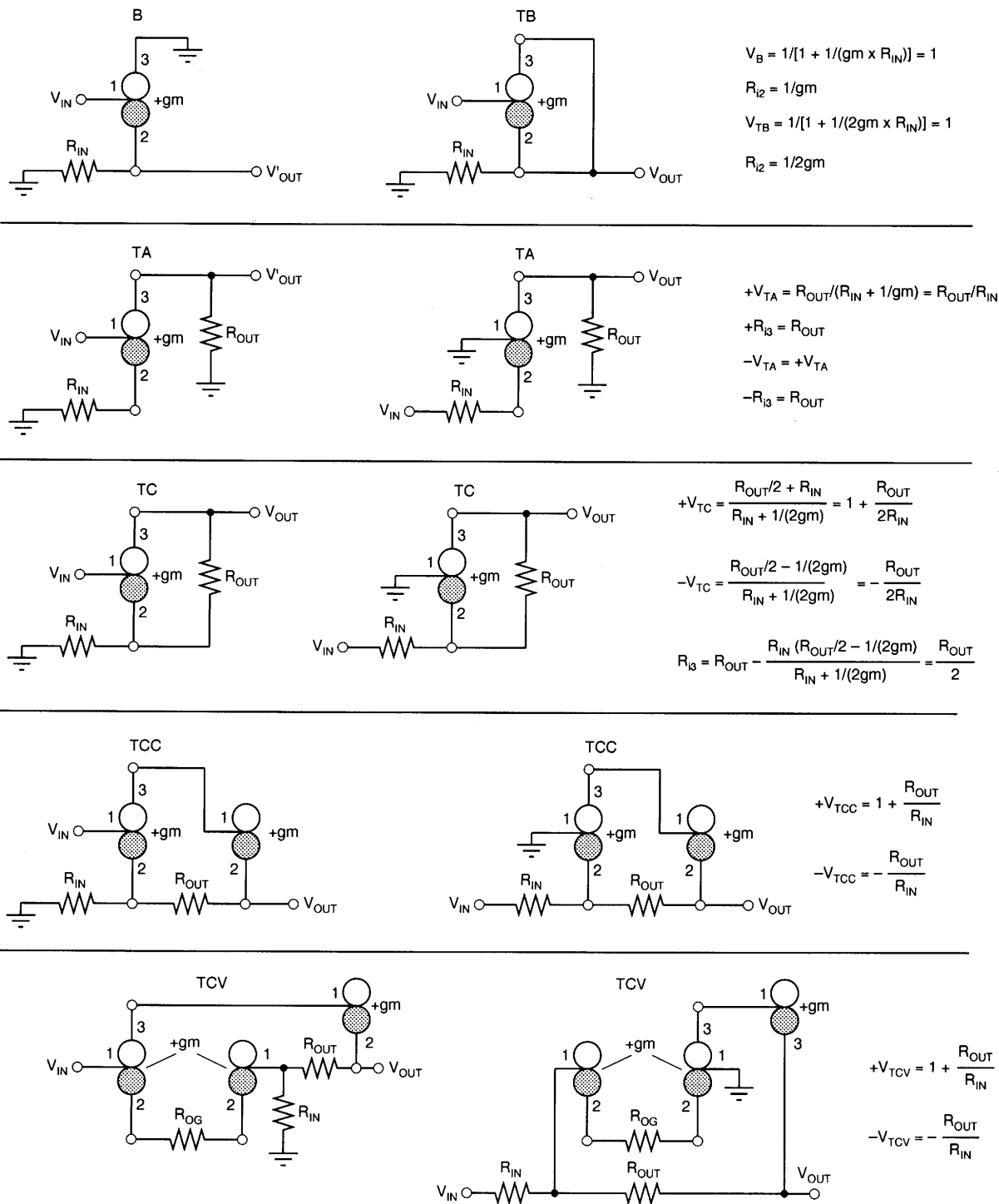


図7. DCSを使用した標準応用回路

日本バー・ブラウン株式会社

本社 〒107 東京都港区赤坂7-10-20 アカサカセブンスアヴェニュービル ☎03-3586-8141
大阪営業所 〒532 大阪市淀川区西中島4-5-1 新栄ビル ☎06-305-3287
名古屋営業所 〒465 名古屋市名東区本郷2-175 サニーホワイト藤 ☎052-775-6761

(AN-180)

フリーダイヤル

東京



FAX.01 20-068801

フリーダイヤル

大阪



FAX.01 20-068805

回線設計およびデータ収集・コントロールシステムの構築のあらゆるご相談をいつでも承ります。

©BBJ940203K