

기술표준원 고시 제 2000 - 92 호
(제정 2000. 5. 29)

전기용품안전기준

K 60034-16-2

[IEC1991-02]

회전기

제 16부: 동기기를 위한 여자계

2장 : 전력계통 연구를 위한 모델

목 차

1. 적용범위	11
2. 여자기 범주 - 안정도 연구에 관한 그래프 표시와 수학적인 모델	13
2.1 직류 여자기	13
2.2 교류 여자기	15
2.3 전압원 정지 여자기	21
2.4 복합 전원 정지 여자기	23
2.5 제어 기능에 대한 수학적 표현	31
3. 기호의 설명.....	43
3.1 인자	43
3.2 변수	43
부속서 A - 단위 시스템	47
부속서 B - 정류기 조절 특성	49
부속서 C - 포화 기능	53
부속서 D - 제한기의 표현	55
부속서 E - 특별한 여자계에 대한 컴퓨터 모델의 형성 예	57

회전기

제 16부. : 동기기를 위한 여자계

2장 : 전력계통 연구를 위한 모델.

1. 적용범위

이 기준은 모델링의 지침과 전력계통의 안정도 연구에서 사용되는 여자계의 적절한 모델을 제시하며, 인수와 변수를 정의하는 명명법을 포함한다.

K 60034-16-1에서 사용된 용어의 정의.

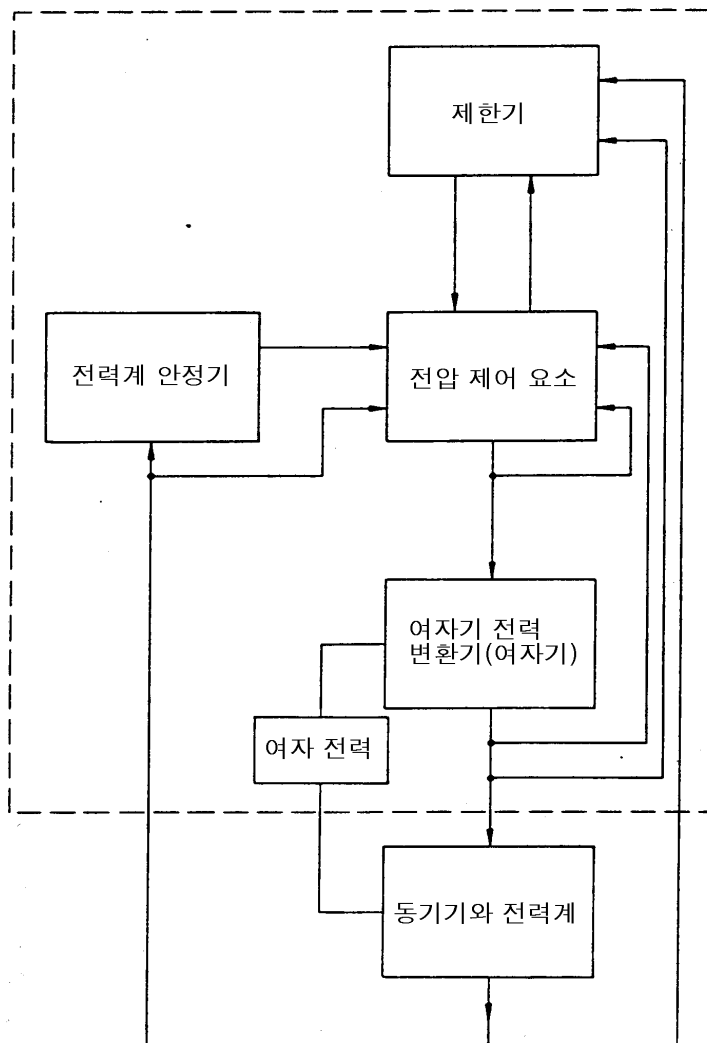


그림1 동기기를 위한 여자계(점선 영역)의 일반적인 함수 블록도 (functional block diagram)

2. 여자기 범주 - 안정도 연구에 관한 그래프 표시와 수학적 모델

2.1 직류 여자기

비록 새로운 장비에는 많이 사용되지 않지만, 직류 여자기는 현재 운행 중인 많은 동기가 이와 같은 여자를 지니고 있으므로 고려되어야 한다. 그림2는 분리된 여자 계자 권선의 형태를 도시화하였고, 그림3은 그에 상응하는 모델을 표시하였다. K_E 는 자기-여자 (self-excitation)을 가지는 여자의 특징을 설명하기 위하여 도입되었다. 분리되어 여자된 여자의 경우 K_E 를 주목하라.

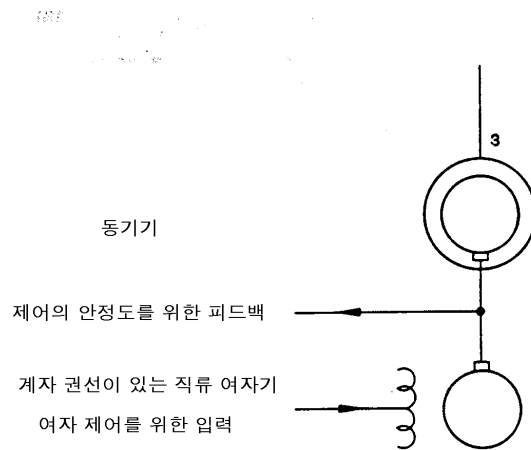


그림2. 분리된 여자 계자 권선을 가지는 직류 여자기.

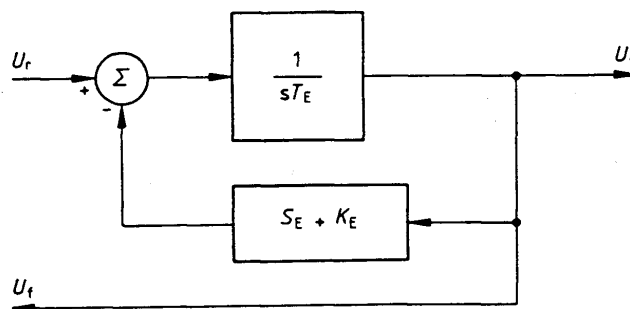


그림3. 그림 2에 상응하는 모델.

여러 형태의 여자 제어가 사용된다.

- 전자 기계식 가감 저항기
- 모터식 가감 저항기.
- 병렬 계자 회로의 주기적인 개폐
- 벡(buck)과 전압 승압(boost)을 위한 분리된 여자 필드의 추가적인 사용.
- 전압 승압(boost)과 벡(buck)을 위한 계자 권선을 가진 직렬의 앰플리다인(amplidyne)

의 단자 전압의 사용.

직류 여자기를 갖춘 장비의 중요성과 비율의 감소를 고려하면, 그림 3의 단순한 모델이 이러한 경우에 적합함이 입증되었다.

2.2 교류 여자기

교류 여자기는 동기기의 계자전류를 발생하기 위하여 정지 또는 회전 정류기를 가진 교류 발전기를 사용한다. 정류기는 제어될 수도 있고 제어가 안 될 수도 있다. 제어가 안 되는 정류기의 경우, 제어는 교류 여자기의 한 개 이상의 계자 권선을 통하여 효과가 있다.

제어를 모델링 하기 위해서는 제어 장치를 통한 교류 여자기 계자전류에 대한 전원을 알아야 한다. 전원은 보조의 발전기나 전압 정지 전원이거나 복합 정지 전원이다.

그림 4는 비제어 정지 정류기를 가진 교류 여자기를 나타낸 것이다. 정지 정류기는 교류 발전기로 부터 급전하며, 동기기의 계자 권선에 브러쉬(brush)나 슬립-링(slip-ring)을 통하여 직류 전류를 전달한다.

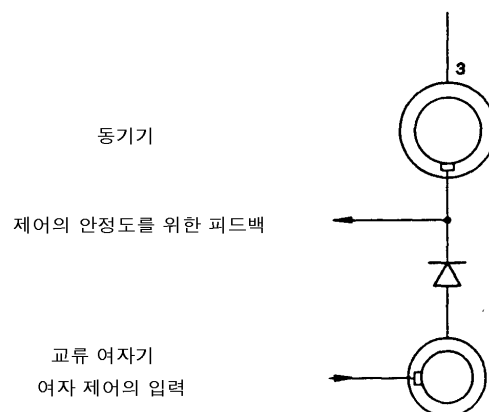


그림 4. 비제어 정지 정류기를 가진 교류 여자기

그림 5는 비제어 회전 정류기(브러쉬가 없는 여자기)와 여자 제어 장치를 위해 영구 자석 보조 여자기를 지닌 교류 여자기를 도시화 하였다. 정류기는 동기기와 교류 여자기의 회전 전기자와 같이 있는 축위에서 회전한다. 회전 정류기의 출력은 슬립-링(slip-ring) 또는 브러쉬(brush)없이 동기기의 계자 권선에 직접 연결된다.

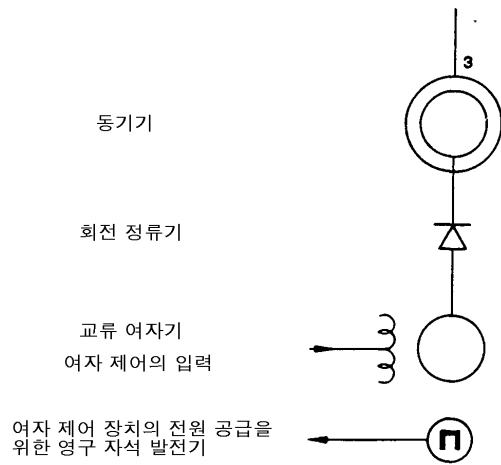


그림 5. 비제어 회전 정류기를 가진 교류 여자기(브러시가 없는 여자기)

교류 여자기는 그림 6과 같이 모델링될 수 있으며, 이는 정상 상태와 과도 상태의 여자기 부하 효과를 설명한다.(어떤 경우에 있어서 과도 상태의 부하 효과를 설명하기 위해서는 좀 더 정밀한 모델이 필요하다.)

단순화된 모델을 그림 7에 나타내었다. 그림 7은 비록 부하 포화 곡선을 사용하여 정상 상태 부하 효과를 설명할 수 있지만, 대부분의 연구에 적절하다. 단순화된 모델의 사용은 복잡한 데이터를 얻을수 없는 경우에 이용할 수있다.

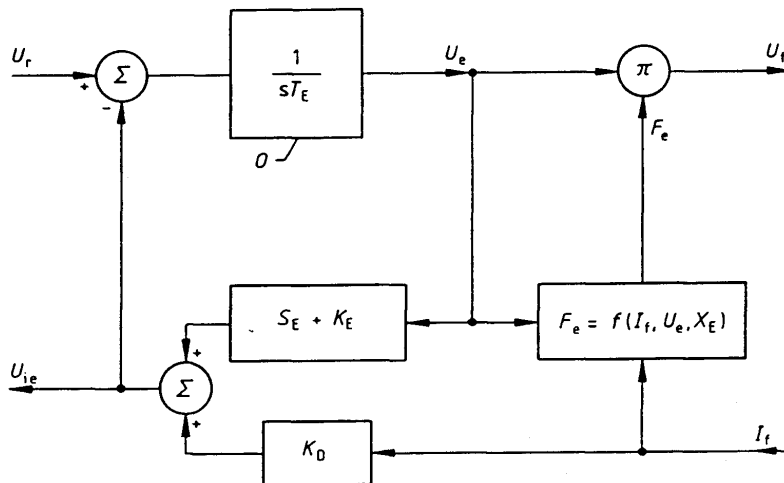


그림 6. 교류 여자기의 상세한 모델.

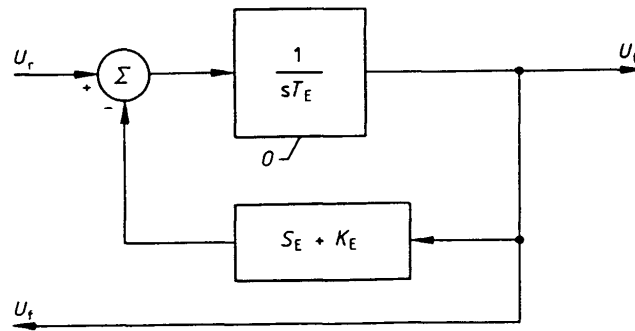


그림 7. 교류 여자기의 단순화된 모델.

2.3 전압원 정지 여자기

전압원 정지 여자기는 동기기로써 같은 축(shaft)위에 있는 보조 발전기, 주 발전기 전압에 의존하지 않는 보조 버스 시스템(bus system) 또는 동기기 단자 전압으로부터 전원을 공급 받을 수 있는 정류기 변압기를 사용한다. 후자는 병렬 정지 여자계라 불리며 이 시스템의 전압 변동은 성능과 모델링시에 고려 되어야 한다. 그림 8은 이러한 시스템을 나타낸다.

1/2 싸이리스터(Tyristor)나 1/2 다이오드(diode)의 보충물(complement)를 가지는 완전 싸이리스터 브릿지(full thyristor bridge) 또는 하이브리드 브릿지(hybrid bridge)를 사용한다. 점화 각 제어는 종종 U_p+ 와 U_p- 의 절대 차이값에 의하여 주어진 이용되는 음의 전압값의 제한치를 두는데 사용한다. 하이브리드 브릿지(Hybrid bridge)는 역전환을 허용하지 않으며, U_p- 는 0의 값을 가진다.

대부분의 제공되는 장비에는, 제어 정류 브릿지(controlled rectifier bridge)는 양의 여자 전류가 흐르는 것을 허용한다. 만약 동기기의 단자 교란이 음의 계자전류를 유도하면, 그림 9의 컴퓨터 모델은 더 이상 효력이 없다. 동기기 계자권선 양단간의 전압은 조정기의 제어에 의해서 결정되는 것이 아니라 이 보고서의 범위를 벗어나는 부분을 고려하여 결정하여야 한다.

양의 여자 전류와 음의 여자 전류를 허용하는 장치는 특이한 동작 환경에만 요구될 것이다. 그림 9의 컴퓨터 모델은 그러한 시스템에서의 이러한 조건들에 적용 가능한 것이다.

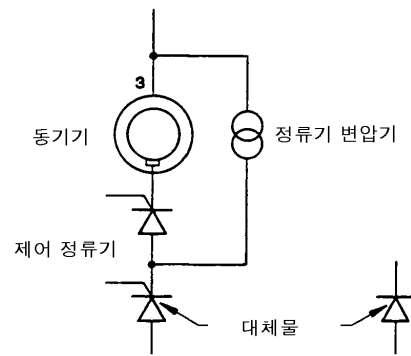


그림 8 전압원 정지 여자계

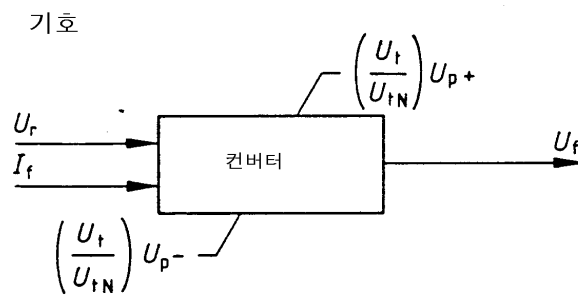
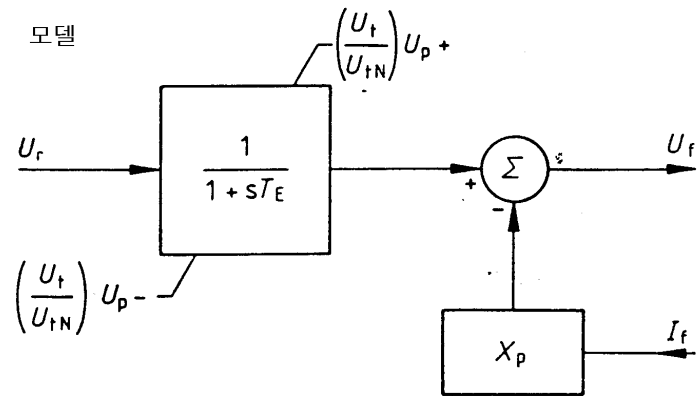


그림 9 전압원 여자계 모델과 기호

2.4 복합 전원 정지 여자기

복합 전원 정지 여자기는 전류원과 전압원(동기기의 수량)에 의하여 전원을 공급받는 정류기 변압기를 사용한다. 수 많은 설계 가능성이 존재한다. 일반적으로 사용되는 3가지 형태를 논의 한다.

첫 번째 그림 10은 정류기의 직류 부분에서 직렬인 두 전원으로 부터의 전압의 추가를 나타내는 개념을 설명한다. 전류 변환기는 특별한 자석 회로 설계를 지니거나 또는 그림 10과 같이 분리된 리액터(reactor)를 사용한다. 그림 11은 그에 상응하는 모델을 나타내었다.

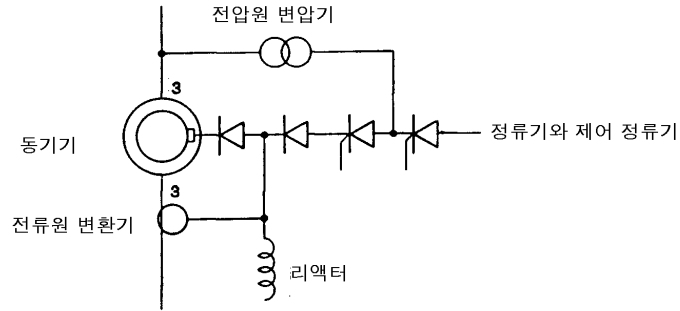


그림 10 직류 부분에 직렬로 전압이 추가된 복합 전원 정지 여자기.

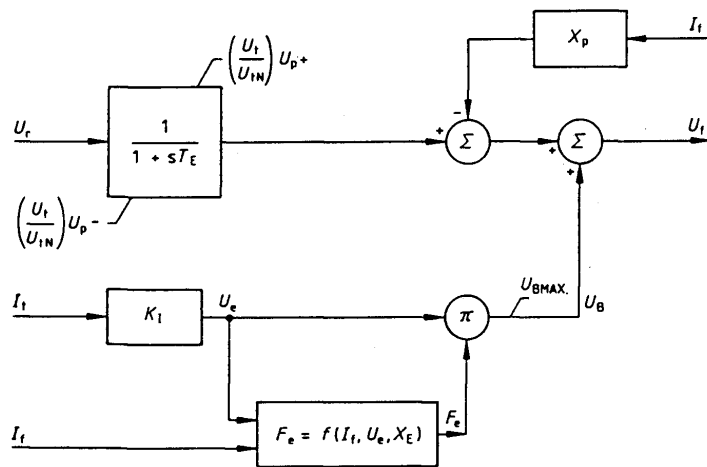


그림 11. 그림 10에 상응하는 모델

두 번째 그림 12는 정류기의 교류 부분에서의 두 전원으로 부터의 전류의 추가를 나타내는 개념을 설명한다. 전압원 변성기는 특별한 자석 회로 설계를 지니며, 나타낸바와 같이 분리된 리액터를 지닌다. 제어는 제어 정류기를 통한 전류 합을 분리함으로 이루어진다.

다른 설계 변동(설명되지 않음)은 2차 전원으로 장비의 단자 전류에 관계없이 전압원에 대한 분리된 내부 장비를 사용한다.

그림 13의 컴퓨터 모델은 이러한 두 가지 시스템을 사용하기 위한 모든 설계 인자를 허

응할 수 있도록 충분히 커야 한다.

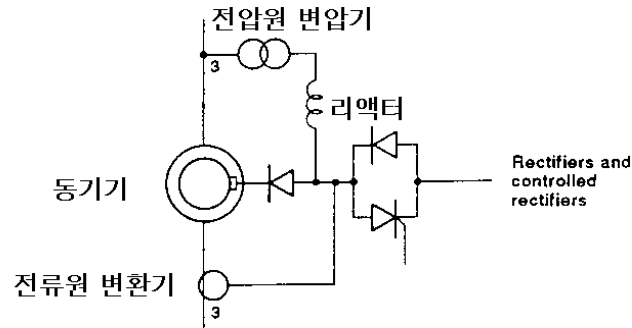
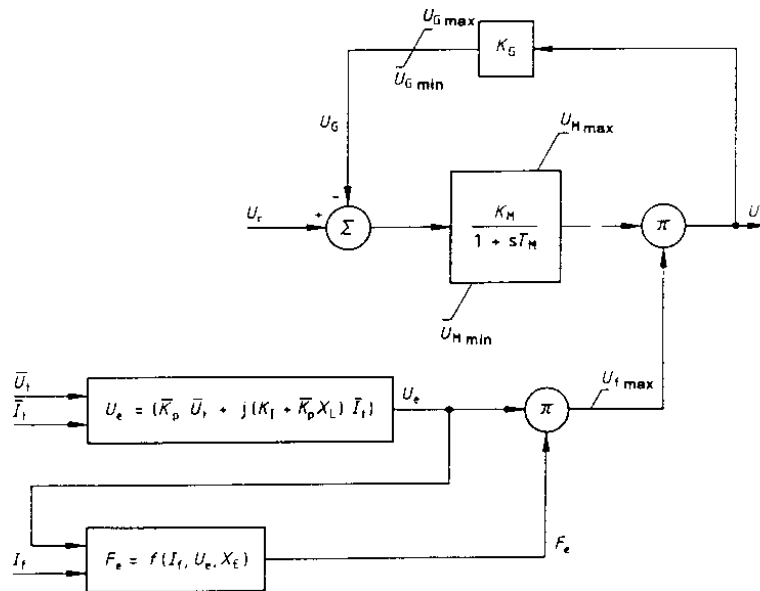


그림 12. 교류 부분에 양 전원으로 부터 전류를 추가하는 복합 전원 정지 여자기.



$$@ \bar{K}_p = K_p e^{j\theta_p}$$

그림 13. 복합 전원 정지 여자기의 일반적인 모델.

또 다른 시스템의 변화는 여자기 출력 제어에 대하여 전류원 변환기를 사용하여 제공한 다. 이러한 시스템을 그림 14에 나타내었고, 그에 상응하는 컴퓨터 모델을 그림 15에 나타내었다.

다른 제조업체의 장비에 있어서도 공통점은 일반화된 PID 제어(PID-control)에 의하여 설명되는 수학적 여자 제어의 기본 기능이다. 이는 표준화된 형태의 여자계의 본질적인 부분을 나타낸다.

그림 16의 PID 제어(PID control)에서, 시정수 T_{C2} , T_{B2} 를 갖는 첫 번째 블록은 미분 함수(D)를 나타내며, 시정수 T_{C1} , T_{B1} 과 이득 K_R 을 가지는 다른 블록은 PI 함수(PI function)를 나타낸다. 출력 제한 $U_{r\max}$, $U_{r\min}$ 은 와인드 업 형태가 아니다(non-wind-up type), 즉 이 제한을 넘어서면 편위로 부터의 적분을 하지 못하게 한다. 와인드 업(wind-up)과 비 와인드 업(non-wind-up)의 비교를 부록 D에 나타내었다. 제한기가 나타날 때 게이트는 신호 선택기로써 역할을 한다.

표준 모델의 특별한 적용에 응용할 수 없거나 요구되지 않는 용어는 각각 1또는 0으로 한다. 해결 기술에 의존하더라도, 때로는 디지털 계산 시간의 길이를 고려하여 최소의 지연 시정수(lag time constant)의 최소값을 제공함으로써 계산시의 수치적인 불안정을 제거하여야 한다.

비례 적분 함수는 피드백 요소(feedback element)내의 비례 증폭기에 의해 제시되는 비 와인드 업 출력 제한(non-wind-up output limitation)을 가지는 그림 17과 같이 구성된다. 그림 17은 그림 16 이러한 구조를 표현한 산술적인 관계를 나타낸다. 비 와인드 업(non-wind-up) 출력 제한을 표시할 수 있을 때, 그림 16의 구조 사용은 피드백내의 증폭기의 높은 이득에 의한 수학적 계산 문제를 피하기 위하여 요구된다.

그림 18은 PID 형태의 기본 모델에 사용되는 가장 먼저 소개되고 자주 사용되는 모델이며, 그 함수는 그림 16과 유사하나 진행 방향 내에서의 리드 함수(lead function) 대신에 피드백 블록에서의 지연을 제시한다.

발전기 단자 전압 감지의 모델링은 모든 전압 조정기에 동일하다. 그림 19는 교류 부분의 부하 전류 보상과 관련된 전압 감지를 나타내었다. 이 경우 입력 변수(발전기 전압과 전류)가 페이서(phasor)의 형태로 입력되며, 결과 신호는 정류된다. 부하 전류 보상은 일반적으로 다음 형식을 따른다.

– 소자(unit)들이 임의피던스없이 병렬로 연결되어 졌을 때, 전류보상은 인위적인 결합 임피던스를 생성하는데 사용되며 소자들은 무효전력을 적절히 분담 할 것이다.

– 단위 소자가 큰 임피던스를 통하여 시스템에 연결 되었을 때 또는 두 개 이상의 유닛이 각각의 변압기 연결 되었을 때, 기기 단자들의 뒤에서 전압을 조절하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 변압를 통하여 임피던스를 보상하는 기기가 바람직하다. 이 경우 R_c 와 X_c 는 음의 값을 갖는다.

부하 전류 보상 대부분의 경우, R_c 요소는 무시할 수 있고, X_c 값만이 요구된다. 이 경

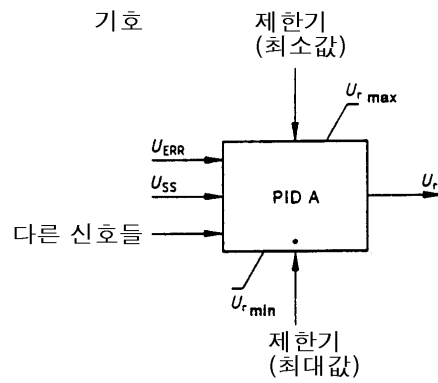
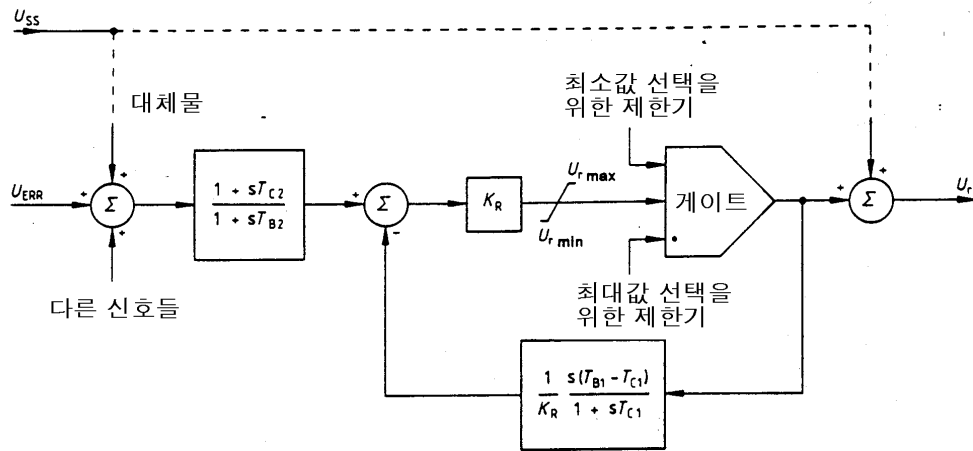
우 무효 성분의 전류 영향을 감소 시키기에 충분하며, 감소된 기능은 무효 전류 보상 성분으로 나타난다. 무효 전류 영향은 그림 20에 의하여 필터된 단자 전압에 직류 신호를 필터한 것으로 추가될 수 있다.

보상이 도입되지 않으면, 그림 19와 20에 나타난 정류된 단자 전압에 대한 필터만이 남는다. 필터링이 복잡한데 반하여, 모델링 측면에서는 단일 시정수도 감소 될 수 있다. 많은 시스템의 경우, 이 시정수는 작으며, 규정은 이를 0으로 해야 한다.

어떤 보상기는 보상 변수로써 유효, 무효 전력을 사용할 수 있다. 이러한 신호들은 단자 전압에서 사용된 것과는 다른 필터링을 지닌다. 그림 21에 이 형태의 보상기를 나타내었다.

부하 보상기의 영향을 추가하고 필터링 한 후에 단자 전압은 요구되는 단자 전압 세팅(setting)을 나타내는 기준과 비교된다. 등가 전압 조정기 기준 신호 U_{REF} 는 초기 동작 조건을 만족하도록 선택된다.

보상이 사용될 때, 전력 진동의 경우에, 양 또는 음의 제동을 추가할 수 있음을 주의하여야 한다.



주석

- 1 ● 는 제한기의 극성을 나타낸다.
2. 최소값은 LV로 축약될 수 있다.
3. 최대값은 HV로 축약될 수 있다.

그림 16 제한기 구조와 수학적 모델을 가지는 일반적인 PID 조정기.

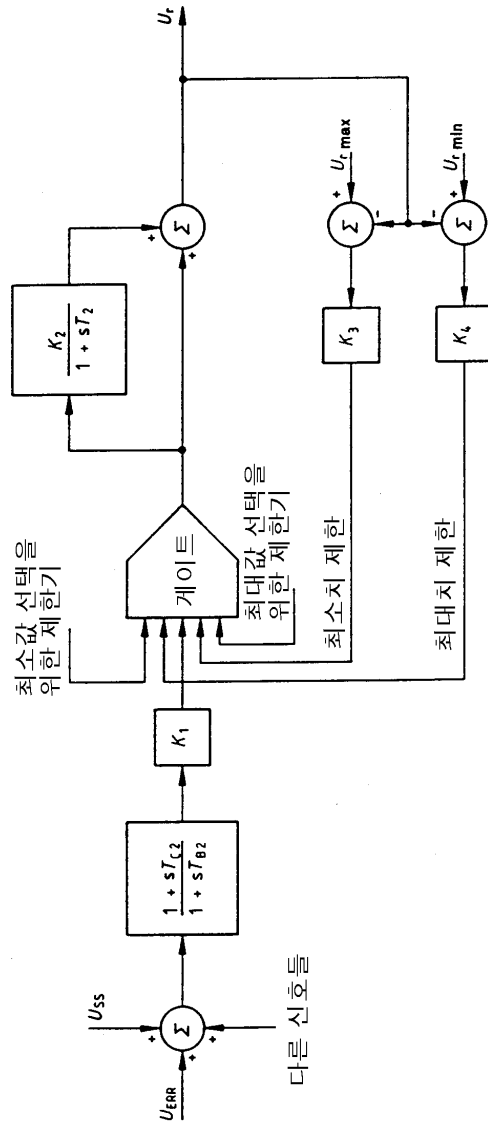
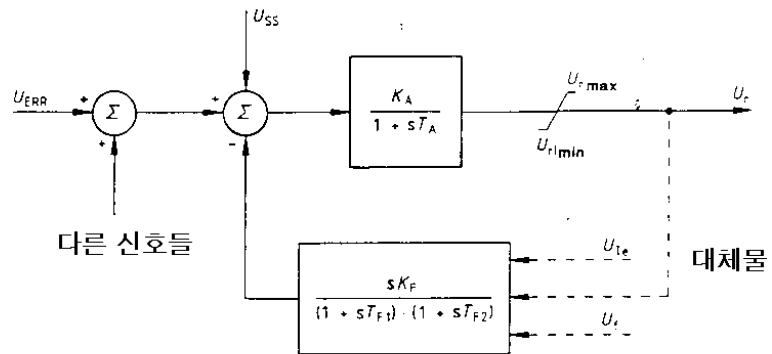


그림 16과 동일 :
$$F(s) = \frac{1+sT_{C2}}{1+sT_{B2}} K_1 (1+K_2) \frac{1+s\frac{T_2}{1+K_2}}{1+sT_2} = \frac{1+sT_{C2}}{1+sT_{B2}} K_R \frac{1+sT_{C1}}{1+sT_{B1}}$$

그림 17 - 대체 PID 조정기 - 구조와 그림 16과 동일



기호

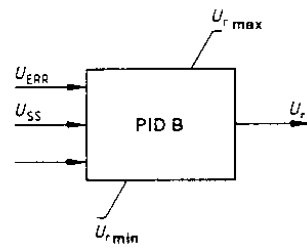


그림 18 제한기가 없는 리그래그(lead lag) 조정기

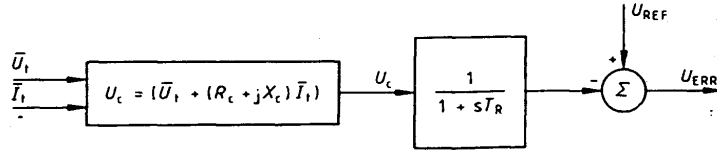


그림 19 단자 전압 감지와 부하 전류 보상

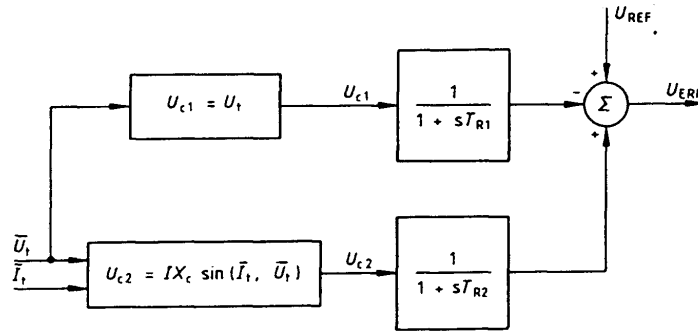


그림 20 기준점에서 단자 전압 감지와 무효 전류 보상.

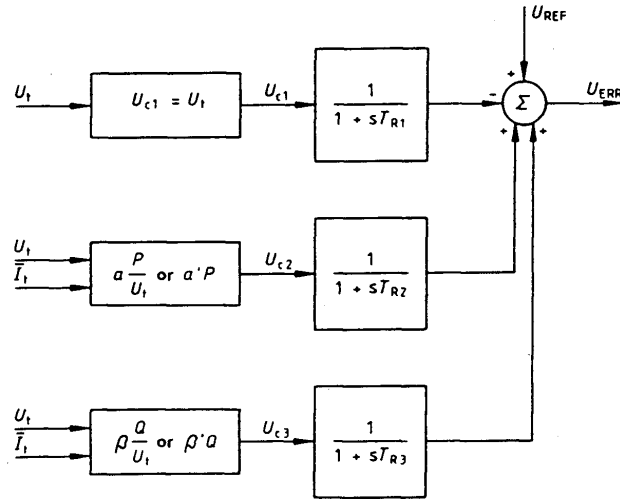


그림 21. 기준점에서 단자 전압 감지와 무효 전력 보상.

3. 기호의 설명

3.1 인자(parameters)

T_E $\left\{ \begin{array}{l} \text{회전 교류, 직류 여자기와 관련된 시정수} \\ \text{정지 여자기, 포화 권선과 관련된 시정수} \\ \text{싸이리스터 브릿지(thyristor bridge) 제어와 관련된 동등한 시정수} \end{array} \right.$

S_E 교류와 직류 회전 여자기와 관련된 포화 함수.

K_E 교류와 직류 회전 여자기의 자기 여자 계자와 관련된 상수.
분리 여자된 (separately-excited) 여자기에서는 $K_E=1$

K_M 복합 정지 여자기에의 내부 루프 필드 조정기의 순방향 이득

K_D 교류 여자기 리액턴스의 함수인, 감자계수(demagnetizing factor).

X_E 전압원, 전류원 또는 전압원과 전류원이 결합한 형태의 정류 리액턴스에 비례하는 정류기 부하 계수

T_M 복합 정지 여자기의 내부 루프 필드 조정기의 동등한 시정수.

F_e 정류 드롭(drop)계수, 부속서B 참조

K_I 전류 회로 입력에 관련된 상수.

K_P 전원 회로 입력에 관련된 상수.

X_L 발전기 고정자 누설 리액턴스에 비례하는, 발전기 내부 권선 전압의 계산에 관련된 계수.

$U_{f \max}$ 복합 여자기의 포화 수준과 관련된 최대 출력 전압.

$\left. \begin{array}{l} U_{r \max} \\ U_{r \min} \end{array} \right\}$ 정류기 출력의 최대치와 최소치.

$U_{B \max}$ 복합 여자기의 전류원의 포화 수준에 관련된 최대 전압.

$\left. \begin{array}{l} U_{p+} \\ U_{p-} \end{array} \right\}$ 정격 발전기 전압과 관련된 전원의 무부하 출력 전압의 최대치와 최소치.

K_G 내부 루프 필드 조정기의 피드백 이득.

$\left. \begin{array}{l} U_{G \max} \\ U_{G \min} \end{array} \right\}$ 내부 루프 필드 조정기의 최대치와 최소치.

$T_R, T_{R1}, T_{R2}, T_{R3}$ 단자 전압 변환기와 부하 전류 보상기에 관련된 시정수.

X_p 전원 컨버터를 위한 정류기 부하 요소.

$\left. \begin{array}{l} K_R, K_A, K_F \\ K_1, K_2, K_3, K_4 \end{array} \right\}$ 전압 조정기와 관련된 이득 상수.

$\left. \begin{matrix} T_{B1}, T_{B2}, T_{C1}, T_{C2} \\ T_A, T_2, T_{F1}, T_{F2} \end{matrix} \right\}$ 전압 조정기와 관련된 시정수.

$X_c, R_c, \alpha, \alpha', \beta, \beta'$ 부하 보상기와 관련된 이득 상수.

3.2 변수

U_r 정류기의 출력

U_f 여자계의 발전기 필드 전압과 출력(단위법에 따른 발전기 공극 필드 전압)

I_f 발전기 필드 전류.(단위법에 따른 발전기 공극 필드 전류)

$\bar{U}_t, U_t$ 발전기 단자 전압의 페이서와 스칼라 값(단위법에 따른 정격)

$\bar{I}_t, I_t$ 발전기 단자 전류의 페이서와 스칼라 값(단위법에 따른 정격)

U_a 정류 리액턴스 뒤의 여자기 전압.(발전기 공극 필드 전압에 상응하는 값의 유닛 당)

U_{REF} 전압 정류기 기준(초기 조건을 만족하기 위해 결정된 것)

U_B 복합 여자기의 전류원 요소의 출력 전압

U_{SS} 전력계 안정기 출력

U_{ERR} 전압 조정 채널의 오차 신호

U_{ie} 여자기 필드 저항에 걸리는 전압 강하.

부속서 A

단위 시스템(per unit system)

시스템 연구에서 발전기 전압과 전류는 변수로 표현된다. 이것들은 하나의 단위법으로 정의된 단위 시스템을 이용하여 유도된다.

- 정격 전압으로써 발전기 단자 전압용.
- 정격 전류로써의 고정자용
- 발전기 공극선에서 정격 발전기 단자 전압을 발생하기 위해 요구되는 전류로써의 발전기 계자전류용.
- 계자전압에 관한 발전기 계자전압용.

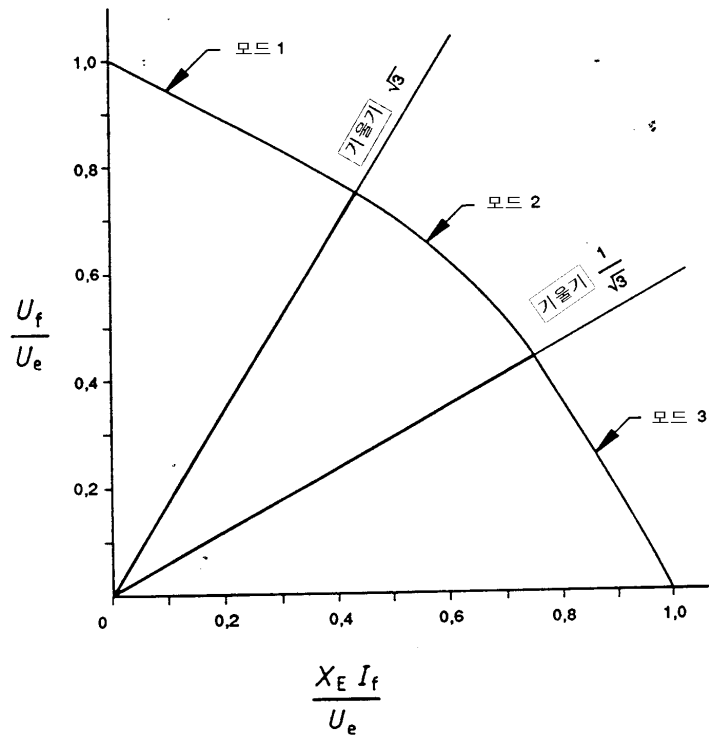
여자계 모델은 고정자와 계자전압 양쪽의 발전기 모델과 인터페이스된다. 전압 조절기의 입력에서 단위 발전기 전압을 더한 신호는 단위 변수에 해당하여야 한다. 여자기 전류는 발전기 계자 전류의 단위여야 하며, 여자기 출력 전압은 발전기 계자 전류의 단위여야 한다.

부속서 B

정류기 조절 특성

정류기 회로에 전원을 공급하는 모든 교류 전원은 인덕턴스 성분이 대부분인 내부임피던스를 갖는다. 이러한 임피던스의 영향은 정류자 동작을 변화시키며 정류기 부하 전류가 증가할 때 정류기의 평균 출력 전압의 비선형성을 감소시키는 원인이 된다. 3상 전파 브릿지회로(full wave bridge circuit)는 일반적으로 세 개의 동작 모드를 지니고 있다. 이러한 세가지 모드를 형성하는 수식은 정류기 부하 전류에 의하여 결정된다.

그림 B.1은 부하 전류대 부하 전압의 특성을 나타내었으며, 그에 해당하는 수식을 표시하였다. 그림 9의 모델에서 나타낸 것과 같이 작은 X_E 값은 1개의 모드 동작만이 필요하다.



만약 $\frac{X_E I_f}{U_e} < 0.433$ 면 $F_e = 1 - 0.577 \left(\frac{X_E I_f}{U_e} \right)$

만약 $0.433 < \frac{X_E I_f}{U_e} < 0.75$ 면 $F_e = \sqrt{0.75 - \left(\frac{X_E I_f}{U_e} \right)^2}$

만약 $\frac{X_E I_f}{U_e} > 0.75$ 면 $F_e = 1.732 \left(1 - \frac{X_E I_f}{U_e} \right)$

그림 B.1 정류기 조정 특성과 그에 해당하는 수식.

부속서C

포화 함수

여자기 포화 함수 S_E 는 포화로 인한 여자기의 여자 요구를 증가시킴을 반영한다. 주어진 여자기 출력 전압에서 A, B, C는 일정저항부하 포화 곡선(constant-resistance-load saturation curve), 공극선 그리고 무부하 곡선에서의 출력 전압을 만들기 위해 요구되는 여자기 여자로서 정의된다.

부하 의존 효과가 분리되어 모델링되지 않을때(그림 7 모델), 교류 여자기와 직류 정류자 여자기의 경우:

$$S_E = \frac{A - B}{B}$$

동기기 리액턴스와 정류자 리액턴스의 부하 의존 효과가 분리되어 있는 모델인(그림 6) 교류 여자기의 경우 :

$$S_E = \frac{C - B}{B}$$

일반적으로, 포화 함수는 대체로 여자기 출력 전압의 정상 값의 1배나 0.75배를 선택한 두 점에 의해 적절하게 선택할 수 있다.

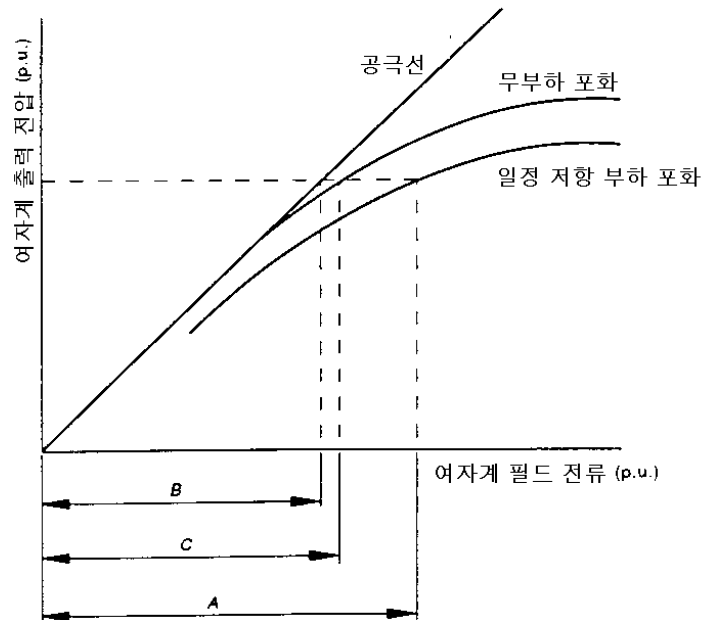


그림 C.1 여자기 포화 특성.

부속서D

제한기의 표현

제어 회로와 여자기 모델링에서 두 종류의 제한이 고려되어야 한다. 와인드 업(wind-up) 제한은 제한 이상으로 출력 y 를 허용 하지만 x 값은 제한 안에서 변한다.(그림 D.1) 비와인드 업(non-wind-up) 제한은 제한 이상으로 출력 y 를 허용하지 않으며, 이는 하드웨어 내에서 피드백의 어떤 형태를 요구할 수도 있다. 그림 D.2에서 주어진 비와인드 업(non-wind-up)제한의 수학적 표현은 지연 함수에는 적용할 수 없다.

만약 비와인드 업(non-wind-up)제한이 좀 더 복잡한 함수에 적용된다면, 완전한 단순하지 않은(not-simplified) 표현은 함수에 의존한다. 예를 들면, 그림 16의 PI 정류기는 같은 그림에서의 정류기 기호에서 보인 것처럼 실제로 비 와인드 업(non-wind-up) 제한을 가진다. 상세한 모델에서 비와인드 업(non-wind-up)제한은 이득 K_R 을 가지는 순방향 경로와 이 성분 주위의 피드백의 비례 부분에서의 와인드 업(wind-up)제한의 결과이다.

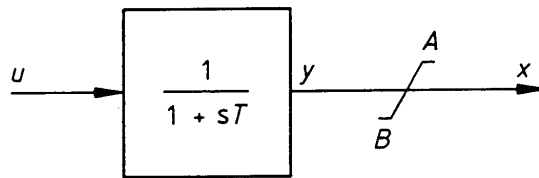


그림 D-1 와인드 업(wind-up) 제한기

시스템 식: $dy/dt = (u-y)/T$

만약 $B \leq y \leq A$ 면, $x=y$

만약 $y > A$ 면, $x=A$

만약 $y < B$ 면, $x=B$

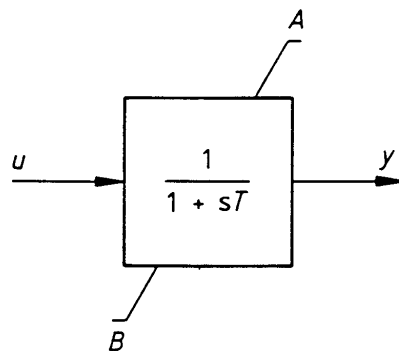


그림 D-2 비와인드 업(Non wind-up) 제한기.

시스템 식: $f=(u-y)T$

만약 $y \neq A$ 이고 $f > 0$ 이면, $dy/dt = 0$

만약 $y \neq B$ 이고 $f < 0$ 이면, $dy/dt = 0$

그렇지 않으면 $dy/dt \neq 0 : B \leq y \leq A$

부속서 E

특별한 여자계에 대한 컴퓨터 모델의 형성 예

그림 E.1 : 제한기가 없는 동기기 단자 전압에 대한 PID 제어를 가지는 정지 여자기 예.

그림 E.2 : 동기기 단자 전압의 PID 제어를 가지는 정지 여자기에서 계자전류 제한기의 적용 예.

계자전류 제한 $I_{f \text{ ref}}$ 는 상수이거나, 또는 적용에 따라 동작시 수정되어야 한다.

그림 E.3 : 동기기 단자 전압의 PID 제어나 종속 루프(sub-loop)내의 계자전류 제어를 가지는 정지 여자기 예.

그림 E.4 : 동기기 단자 전압의 PID 제어나 병렬 계자전류 제어를 가지는 교류 여자기의 예. 중간 증폭기는 PMG와 같이 일정한 전압원 에서 나오는 싸이리스터 컨버터(thyristor converter)이다.

그림 E.5 : 동기기 단자 전압의 PID 제어, 여자기 계자전류의 종속 제어 루프(sub-control loop)가 있는 교류 여자기 예. 중간 증폭기는 단자 전압으로 부터의 싸이리스터 컨버터(thyristor converter)이다.

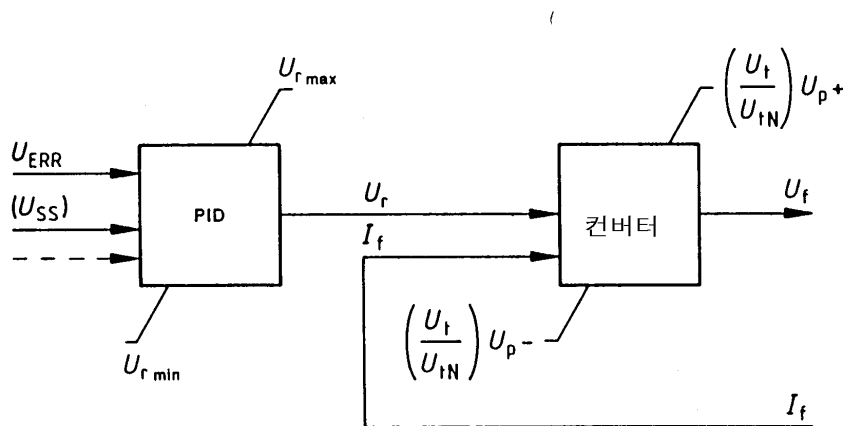


그림 E.1 - 응용 예 : 제한기가 없는 정지 여자기

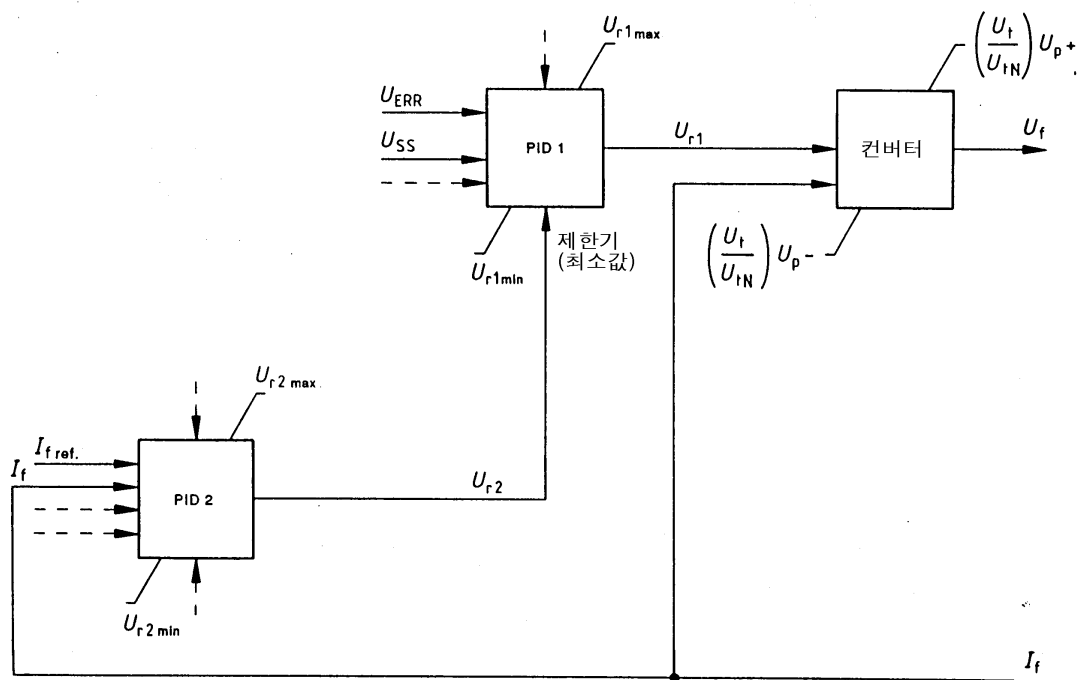


그림 E.2 - 응용 예: LV 게이트를 통한 정지 여자기 계자전류 제한기.

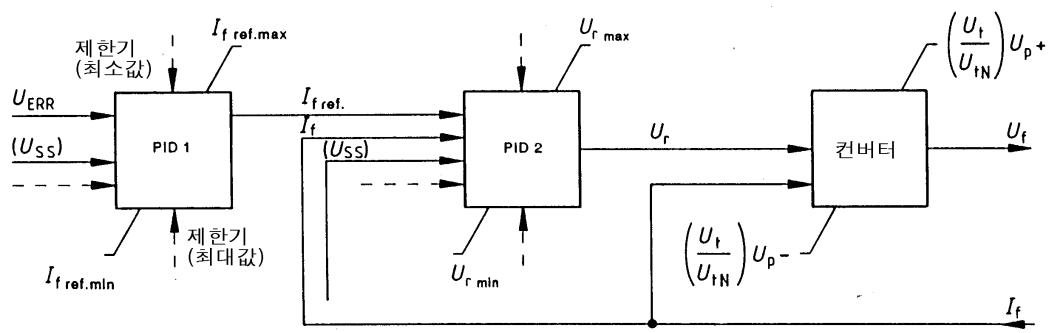


그림 E.3 - 응용 예: 종속 루프(sub-loop)내의 계자전류 조정기를 가지는 정지 여자기.

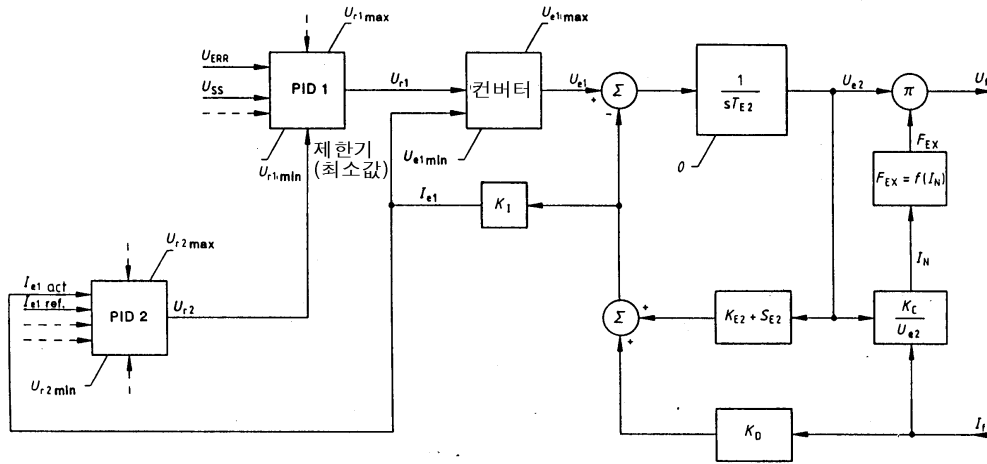


그림 E.4 - 응용 예 : 다이오드가 있는 교류 여자기 - 싸이리스터(thyristor) 정류기로 부터의 여자기 계자전류.(일정 전압원)

여자기 계자전류 제한기 LV 게이트를 가지는 전압 조정기.

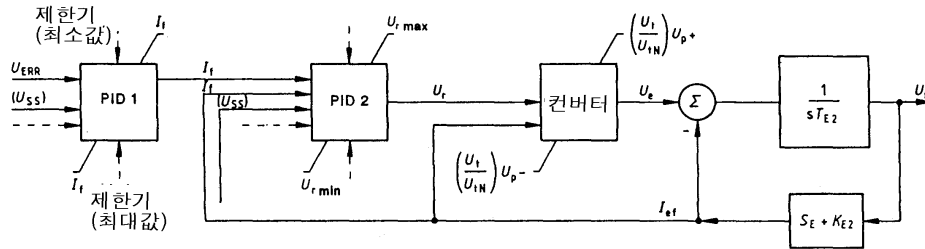


그림 E.5 - 응용 예 : 종속 루프(sub-loop)내의 여자기 계자전류를 가지는 회전 여자기.

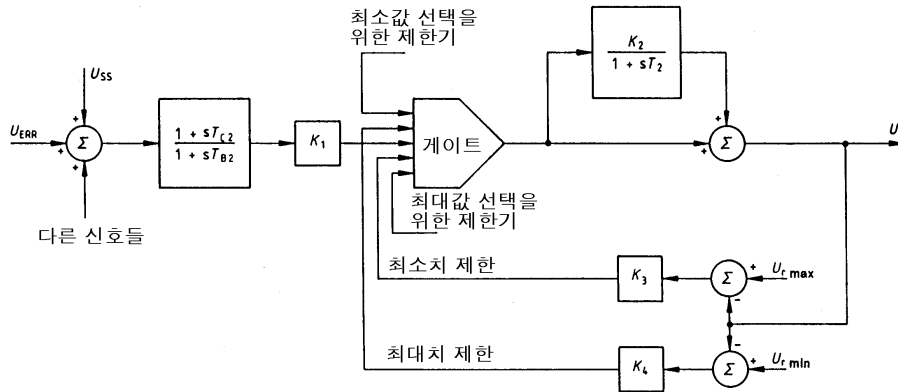


그림 16과 동일 :
$$F(s) = \frac{1+sT_{C2}}{1+sT_{B2}} K_1 (1+K_2) \frac{1+s\frac{T_2}{1+K_2}}{1+sT_2} = \frac{1+sT_{C2}}{1+sT_{B2}} K_R \frac{1+sT_{O1}}{1+sT_{B1}}$$

그림 17. 대체 PID 조정기 - 구조와 그림 16과 동일 식.